# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

## FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e della Produzione
Cattedra di Gestione della Produzione Industriale

### TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

### ANALISI E PREVENZIONE DEGLI INCENDI IN UNA FLOTTA DI AUTOBUS IN SERVIZIO PUBBLICO DI LINEA
### CASO STUDIO : COMPAGNIA TRASPORTI PUBBLICI S.p.A.


**Relatore**
Ch.mo Prof.
Ing. Liberatina Carmela Santillo

**Candidato**
Riccardo Aurino
Matr. 43/2077

**Correlatore**
Ch.mo Prof. Ing. Pasquale Iannotti

**Tutor Aziendale**
Ing. Pasquale Del Sorbo


Anno Accademico 2008 – 2009

Università degli Studi di Napoli Federico II

Facoltà di Ingegneria

Corso di Studi in Ingegneria Meccanica

Ingegneria Meccanica (laurea quinquennale)

Tesi di Laurea

# ANALISI E PREVENZIONE DEGLI INCENDI IN UNA FLOTTA DI AUTOBUS IN SERVIZIO PUBBLICO DI LINEA CASO STUDIO : COMPAGNIA TRASPORTI PUBBLICI S.p.A.

**Relatori:**
Ch.mo Prof. Ing. Liberatina Carmela Santillo
DIMP - Dip. di Ingegneria dei materiali e della produzione

**Correlatore:**
Ch.mo Prof. Ing. Pasquale Iannotti
DIMP - Dip. di Ingegneria dei materiali e della produzione

**Candidato:**
Riccardo Aurino
matr. 43/2077

## SOMMARIO DELLA TESI

Il presente lavoro di tesi è il frutto della collaborazione tra la CTP S.p.A. e il D.I.M.P., a seguito delle difficoltà della azienda di trasporti ad individuare le cause di alcuni incendi degli autobus adibiti al TPL e all'intensificarsi degli stessi negli ultimi anni. L'elaborato, quindi, si propone di individuare le misure atte a rafforzare il livello di sicurezza e a ridurre la probabilità d'insorgenza degli incendi. Attraverso un'analisi disaggregata dei singoli eventi, si è dapprima cercato di comprendere le dinamiche che danno origine alle cause e, poi, successivamente si sono individuate le possibili prospettive di soluzione del problema, in un'ottica sia di prevenzione che di protezione, mediante una reingegnerizzazione degli autobus. Gli accorgimenti individuati, sia di tipo tecnico che gestionale, sono indirizzati, innanzitutto alle case costruttrici e mirano a ridurre e/o eliminare le possibili cause, a proteggere il comparto passeggeri dalla propagazione di eventuali fiamme, a determinare le migliori caratteristiche del sistema antincendio, ma anche alle aziende esercenti per individuare le procedure corrette da adottare nell'affrontare un'eventuale condizione di pericolo, al fine non solo di garantire la sicurezza del conducente, degli utenti ed eventuali terzi, ma anche per orientare l'azienda stessa a definire le specifiche dei nuovi capitolati di approvvigionamento degli autobus e a migliorare l' organizzazione dei processi manutentivi. Considerando, infine, che l'intensificazione di un incendio è dovuta essenzialmente ai materiali degli allestimenti interni, pur se conformi alle normative vigenti sul comportamento al fuoco, viene suggerito un adeguamento delle norme sulla protezione al fuoco dei veicoli, mediante l'adozione di quelle vigenti per il settore ferrotranviario, che individuano degli standard di sicurezza più elevati, perché più restrittive rispetto ai limiti di accettabilità dei materiali di allestimento e rivestimento.

**Figura 1 :** ***Autobus totalmente incendiato***

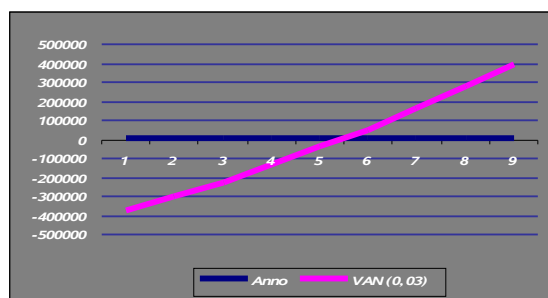



**Figura 2 :** ***VAN conseguente alla reingegnerizzazione dell' autobus***

Anno Accademico 2008/2009

# INDICE

Indice

Indice

## INDICE DELLE FIGURE

Indice delle Figure

# INDICE DELLE TABELLE

Indice delle Tabelle

# INTRODUZIONE

Con questo lavoro di tesi si vuole definire e valutare il grado di criticità del rischio d'incendio autobus con la successiva individuazione delle possibili prospettive di soluzione al problema, in ottica sia di prevenzione che di protezione.

Dalle indagini statistiche condotte dall'associazione dei trasporti "ASSTRA" in Italia è risultato che su 1000 autobus circa 6 all'anno hanno subito un incendio, di cui 3,5 con danni trascurabili, mentre 0,53 su 1000 sono andati completamente distrutti senza che comunque vi siano stati danni alle persone, con una percentuale che seppur piccola, tanto che porta a considerare gli autobus per numero di incendi e vittime tra i più sicuri mezzi di trasporto, deve far riflettere sulla necessità, da parte delle case costruttrici di adottare la massima attenzione nella individuazione degli accorgimenti costruttivi e materiali più idonei nella realizzazione degli autobus e da parte delle aziende esercenti di investire in manutenzione.

Dalla analisi delle serie storiche desunte dagli archivi della CTP, escludendo i casi di origine dolosa o dovuti ad incidenti, viene confermata anche per la Compagnia la linea di tendenza nazionale per la flotta complessiva, ma per una particolare tipologia di autobus si è avuto un tasso d'incendio annuo dell' 1,1%, con 4 casi in poco meno di 7 anni su una flotta di 52 veicoli, ossia poco più un incendio ogni 2 anni. Pertanto, viste le difficoltà nella determinazione delle cause degli incidenti riscontrati nella stessa azienda, attraverso il presente elaborato si è cercato di individuare le misure atte a rafforzare il livello di sicurezza e a ridurre la probabilità del verificarsi degli incendi. Gli accorgimenti individuati, sia di tipo tecnico che gestionale, sono indirizzati sia alle case

costruttrice e miranti a ridurre e/o eliminare le possibili cause di incendi, proteggere il comparto passeggeri, determinare le migliori caratteristiche del sistema antincendio, sia alle aziende esercenti per individuare le procedure corrette da adottarsi nell' affrontare un'eventuale condizione di pericolo, al fine sia di garantire da un lato la sicurezza del conducente, degli utenti ed eventuali terzi ma anche per orientare l'azienda stessa a definire le specifiche dei nuovi capitolati di approvvigionamento degli autobus. Lo studio effettuato è stato diretto anche ad individuare le zone del vano motore in cui si creano le condizioni più favorevoli all'incendio, in cui per la contemporanea presenza di comburente, combustibile ed energia di attivazione, si determinano le condizioni necessarie affinché una combustione possa avvenire, chiudendo il cosiddetto "triangolo del fuoco" caratteristico di ogni incendio. Inoltre, tenendo presente che l'incendio totale del mezzo si realizza in 20-30 minuti e anche in considerazione di studi dell' UITP, secondo i quali l'intensificazione di un incendio è dovuto essenzialmente ai materiali degli allestimenti interni, specie quelli dei veicoli più moderni e confortevoli, ma che risultano conformi alle normative vigenti sul comportamento al fuoco, sembrerebbe opportuno adeguare al progresso tecnologico le norme sulla protezione al fuoco dei veicoli, magari adottando quelle più stringenti sui limiti di accettabilità dei materiali di allestimento, rivestimento, delle sedute, cavi e componenti elettrici nel settore ferrotranviario, che individuano degli standard di sicurezza più elevati. Appare infine utile l'individuazione di indicatori e metodi comuni di sicurezza al fine di consentire una maggiore armonizzazione nell'Unione Europea dei diversi provvedimenti legislativi nazionali, un maggior monitoraggio delle flotte di veicoli attraverso sistemi informativi computerizzati ma soprattutto è da prendere in opportuna considerazione il fattore umano se si vuole che le misure tecniche proposte siano applicate in maniera efficace, per cui il

ruolo dell'ingegneria di manutenzione, nell' organizzazione dei processi manutentivi dei mezzi di trasporto, non andrebbe più considerato unicamente nella dimensione di costo ma anche come un'opportunità per favorire il posizionamento sul mercato e salvaguardare l'azienda stessa da eventuali danni d' immagine legati ad eventi incidentali.

Il presente lavoro è articolato in nove capitoli, di cui si riporta una breve sintesi.

Nel **primo** capitolo si da uno sguardo complessivo al settore del trasporto pubblico locale, sia dal punto di vista del mercato, che delle politiche di investimento e di sicurezza, riferendosi in particolare all'autobus, del quale vengono fornite le diverse classificazioni susseguitesi nel corso degli anni; viene infine presentata l'azienda in oggetto, la CTP, descrivendone la tipologia di servizio offerto, il parco veicolare, l' organizzazione e le strategie, adottate dalla stessa, per garantire qualità e affidabilità nei trasporti.

Nel **secondo** capitolo si richiamano i principali concetti sulla chimica e fisica degli incendi, i parametri e le modalità di combustione delle diverse sostanze, necessari alla comprensione delle problematiche affrontate nei capitoli successivi, nonché la dinamica di un incendio e i provvedimenti per condizionarne l'evoluzione.

Nel **terzo** capitolo si esaminano le misure e gli accorgimenti intesi ad evitare l'insorgenza di un incendio e a limitarne le conseguenze nel caso si verifichi, ossia si illustrano i fondamenti della prevenzione e protezione incendi, sia attiva che passiva, focalizzando l'attenzione sul rischio d'incendio del settore specifico, con un' attenzione particolare data ai diversi impianti antincendio automatici e non utilizzati dall'azienda ospitante; infine si illustrata la normativa di riferimento antincendio per gli autobus.

**Nel quarto** capitolo, analizzando i dati statistici nazionali sugli incendi, desunti dall' associazione dei trasporti ASSTRA, da un' indagine presso le aziende esercenti, si identificano le principali tipologie di motori coinvolti, cause, zone d'innesco, distribuzione per gravità degli incendi nel trasporto pubblico su gomma ed infine si evidenzia il caso CTP.

Nel **quinto** capitolo si fornisce una dettagliata descrizione degli autobus Cityclass incendiati, evidenziando in maniera particolare i componenti meccanici ed elettrici del vano motore ed individuando i materiali fondamentali dei diversi elementi presenti.

Nel **sesto** capitolo si effettua una disamina approfondita sul comportamento al fuoco dei diversi materiali combustibili solidi (plastici, compositi polimerici, legno, tessili), liquidi (rifornimenti e lubrificanti) e non combustibili (acciaio, ghisa, alluminio, vetro e isolanti) costituenti l' autobus in esame.

Nel **settimo** capitolo, si analizzano gli incendi avvenuti in CTP, cercando di individuarne ove possibile le cause e la dinamica evolutiva; si forniscono inoltre i risultati di una simulazione, attraverso l'analisi CFD, sulla distribuzione dei fumi e delle fiamme conseguenti a un evento incidentale, utile a trarne delle raccomandazioni per la progettazione, l'organizzazione aziendale e i materiali attualmente utilizzati sugli autobus. Infine vengono proposte alcune misure di sicurezze tecniche, (per il compartimento passeggeri, vano motore e mezzi di spegnimento) manutentive e gestionali per affrontare le possibili situazioni di pericolo.

Nell' **ottavo** capitolo si propongono le azioni da intraprendere nel vano motore, sia in ambito progettuale che manutentivo, per ridurre il rischio d'incendio entro un limite accettabile e contenere la propagazione delle fiamme al vano passeggeri. La reingegnerizzazione dell'autobus viene quindi valutata attraverso un'analisi dei costi-benefici e se ne valuta la robustezza e affidabilità dei risultati attraverso un analisi di sensitività.

Nel **nono** capitolo, alla luce del basso livello di sicurezza mostrato dagli autobus, viene dato uno sguardo all'esperienza e ai requisiti di altri settori, al fine di ridurre il rischio d' incendio. In particolare ci si sofferma sul settore ferrotranviario, che si contraddistingue per il livello di sicurezza raggiunto nella resistenza al fuoco ed emissione dei fumi dei materiali e si pone inoltre l'accento sull' impianto di rilevazione, di erogazione estinguente e diagnostica, di un moderno elettrotreno quale l' ETR 600. Infine vengono evidenziati alcuni standard, parametri e relativi limiti che potrebbero risultare utili per ridurre al minimo le conseguenze degli incendi degli autobus.
Infine nella **conclusione** si evidenzia come solo con un piano globale di prevenzione, che includa tutte le misure viste, sia possibile abbassare drasticamente il rischio d' incendio e garantire l' incolumità dei passeggeri e del personale lavorativo.

# Capitolo 1

# Il Trasporto Pubblico Locale

## 1.1 UNO SGUARDO COMPLESSIVO SUL SETTORE

I sistemi di trasporto pubblico, utilizzati in ambito urbano e metropolitano, si pongono come obiettivo fondamentale sia quello di soddisfare le esigenze di mobilità degli utenti, sia di porre dei limiti quanto più possibile all' utilizzo dell'auto privata, favorendo in questo modo un riequilibrio modale. Un uso sempre maggiore, da parte della popolazione, di questi sistemi di trasporto, concorre a un abbattimento dei livelli di inquinamento atmosferico e acustico, visto che l'adozione di una tale politica di mobilità porta alla riduzione della presenza di automobili sulla rete stradale e di conseguenza, al decongestionamento di quelle aree urbane caratterizzate da una considerevole densità di traffico.
Il settore del trasporto pubblico locale[1] italiano si compone di oltre 1.260 operatori, produce un giro di affari di circa 8 miliardi di Euro ed impiega 116.500 lavoratori, muove ogni giorno quasi 15 milioni di viaggiatori (5,4 miliardi di viaggiatori annui), produce ogni giorno 5 milioni di chilometri (1,9 miliardi di km annui), serve 5 mila Comuni (93% della popolazione italiana) utilizzando 48 mila mezzi di trasporto. Mentre nel 2009 in Italia il PIL ha subito una diminuzione del 4,8% la mobilità

[1] Per **trasporto pubblico locale** si intendono i servizi di trasporto regolare di passeggeri che operano in modo continuativo o periodico con itinerari, orari, frequenze e tariffe prestabilite, ad accesso generalizzato, nell'ambito di un territorio di dimensione normalmente regionale o infraregionale realizzati con qualsiasi modo di trasporto.

urbana sembrerebbe andare in direzione opposta in controtendenza quindi rispetto all'andamento dei consumi nazionali con una domanda di mobilità complessiva che continua a crescere, cosa che negli anni passati ha spesso anticipato il ciclo economico generale; già nel 2008 si era determinato un aumento del 3,7% nel numero di spostamenti complessivi, dell'11,4% nel numero di passeggeri per chilometro e del 5,4% della mobilità urbana intesa come percorrenze con origine e destinazione interne al perimetro comunale. Da notare inoltre che, per la prima volta dal 2000, i dati di crescita per il trasporto pubblico urbano, sia nei valori assoluti che nelle quote di mercato, si ripropongono per due anni di seguito, mostrando quindi un ipotizzabile tendenza a un possibile ciclo di media durata per la mobilità collettiva delle città. In realtà dal monitoraggio del settore si evidenziano anche alcuni elementi che paiono contrastare la positiva tendenza congiunturale; infatti da un lato il trasporto urbano di superficie conserva una risicata sufficienza nel grado di soddisfazione percepita del servizio pubblico, mantenendo soltanto una soglia di accettabilità presso la propria clientela e ponendosi a distanza dagli standard qualitativi necessari per un adeguato e competitivo sistema di mobilità collettiva (in particolare l'autobus risale sopra la sufficienza seppure di pochissimo a 6,03 contro 5,96 del 2007 anche se al Sud è al di sotto della sufficienza con un 5,64 comunque in miglioramento rispetto al 5,46 dell'anno precedente e con una quota di intervistati che ha assegnato un voto di soddisfazione tra 6 e 10 che si attesta nel 2008 al 64% mentre nel 2007 era scesa al 62,1%), dall'altro è risultata una interruzione nel rinnovamento della flotta di autobus che aveva portato l'età media del parco mezzi a livelli quasi europei con un' età media nel 2007 risalita a 8,1 anni, stesso valore del 2005, dal 7,9 del 2006. In particolare ciò è stato favorito da un forte rallentamento dei finanziamenti pubblici per

l'acquisto dei nuovi autobus senza i quali le aziende non sono in grado di sostenere investimenti molto onerosi [1 a 5].

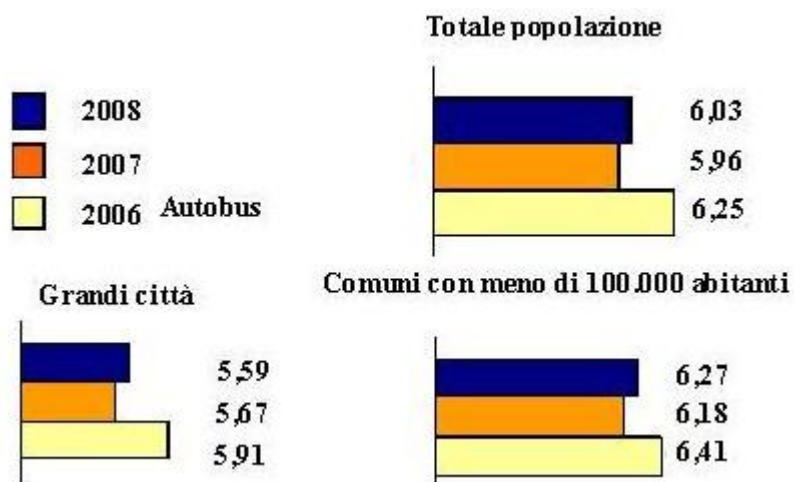



**Figura 1** : ***La soddisfazione per l'utilizzo dell'autobus nei diversi contesti urbani (punteggi medi 1 ÷ 10)***

| | Autobus e tram | | Metropolitana | |
|---|---|---|---|---|
| | 2008 | 2007 | 2008 | 2007 |
| Nord-Ovest | 6,31 | 6,21 | 7,62 | 7,55 |
| Nord-Est | 6,75 | 6,71 | - | - |
| Centro | 5,54 | 5,71 | 6,96 | 6,68 |
| Sud e Isole | 5,64 | 5,46 | 7,06 | 7,19 |
| *Totale* | *6,03* | *5,96* | *7,30* | *7,23* |

**Figura 2 :** ***La soddisfazione per i mezzi di trasporto pubblico urbano per circoscrizione territoriale di residenza (punteggi 1 ÷ 10)***

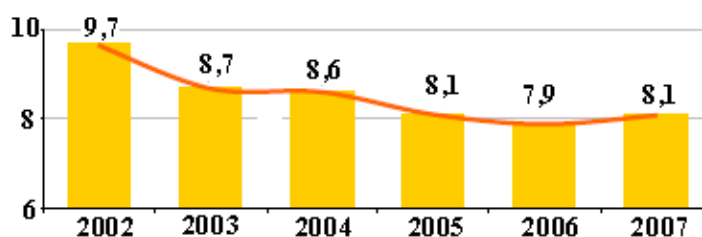



**Figura 3 :** ***Età media autobus urbano in anni***

**Tabella 1 :** ***Quota di utenti soddisfatti dei mezzi di trasporto urbani (% di voti 6 ÷ 10)***

| | 2008 | 2007 | 2006 | 2005 | 2004 | 2003 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Autobus e tram | 64,0 | 62,1 | 69,4 | 68,3 | 75,1 | 76,9 |
| Metropolitana | 84,6 | 83,5 | 83,2 | 81,1 | 78,7 | 83,0 |

Infine i primi dati del 2009, non sembrano positivi per il trasporto pubblico urbano, per effetto ad esempio della diminuzione del prezzo della benzina che incentiva l'uso del mezzo privato, della diminuzione dei viaggi d'affari e delle presenze turistiche utilizzatrici dei mezzi pubblici, della chiusura anche temporanea di molte fabbriche che riduce gli abbonamenti al trasporto collettivo e di una riduzione delle politiche di regolazione e dissuasione del traffico privato.
L'evoluzione delle normative in materia di trasporto pubblico locale è stata in questi ultimi anni particolarmente disorganica e altalenante, generando un clima di totale incertezza, aggravato dalla scarsità e insicurezza delle risorse a sostegno degli investimenti. Ed infatti sono fonte di grave preoccupazione i tagli previsti dalle ultime Finanziarie, che hanno determinato una contrazione complessiva di risorse pari al mancato acquisto di almeno 800 autobus, a fronte di un parco per oltre il 25% obsoleto e l'esiguità degli importi stanziati per il settore, con i quali, in aggiunta agli impegni di natura contingente, si dovrebbe provvedere ad ammodernare il parco autobus, che impediscono quindi di formulare ed attuare un serio progetto industriale che consenta un miglioramento della qualità dei servizi di trasporto. In effetti manca una politica di investimento capace di garantire un livello di sostituzione annuo dei veicoli obsoleti (quelli che hanno superati i 15 anni) e adeguata a realizzare, in tempi brevi l'obiettivo di portare l'età media del parco autobus italiano allo standard dei principali paesi europei, che è stabilmente intorno ai 7 anni [6-7].
Il rinnovo del parco autobus risulta fondamentale per la qualità del servizio offerto non solo per le ricadute ambientali dovute al minor inquinamento degli autobus di ultima generazione EEV, per le implicazioni occupazionali del settore e del relativo indotto e per l'intero sistema economico nazionale grazie all'avanguardia delle aziende

costruttrici, ma soprattutto è basilare per i risvolti economici che ne derivano in quanto la manutenzione di veicoli obsoleti determina maggiori costi rispetto a quella di un parco allineato agli standard europei, con una stima di almeno 60 milioni di euro all'anno in più.
Nell'ultimo biennio si è assistito ad una crescita del trasporto collettivo che ha determinato comunque solo una piccola erosione del quasi monopolio dell'auto nella mobilità cittadina che mantiene uno share di mercato prossimo all'80% degli spostamenti motorizzati e quindi con un ordine di grandezza nella differenza d' impiego tra mezzi individuali e collettivi su gomma ancora enorme. In ogni caso la crescita della quota di spostamenti in autobus a discapito dell' impiego dell' auto privata nel segmento dei flussi non sistematici, soprattutto grazie alla minore capacità di spesa delle famiglie che tendono a riposizionare le scelte modali su vettori più economici rispetto all'automobile ma anche grazie al miglioramento della qualità percepita del servizio, è da interpretarsi come un primo segnale delle potenzialità dell' autobus nei confronti dell'utenza. Da notare che la quota di mercato del trasporto pubblico è cresciuta nelle aree urbane di poco più di un punto percentuale, attestandosi nel 2008 al 12,6%, con un recupero di peso non più marginale, se rapportato al punto minimo (10%) toccato nel 2006.

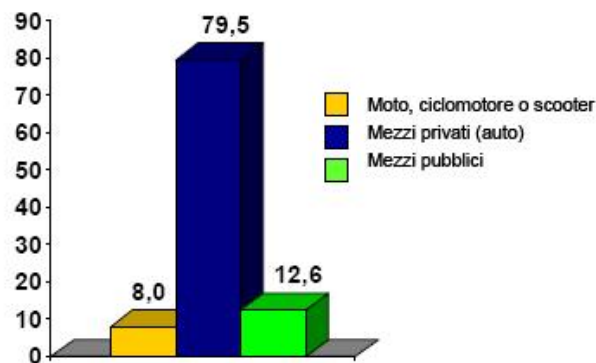



**Figura 4 :** ***Il mercato urbano dei mezzi di trasporto nel 2008***

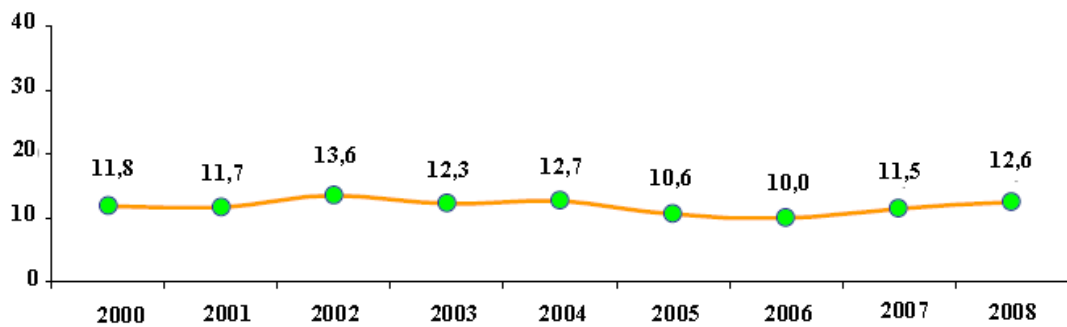



**Figura 5 :** ***La quota mercato del trasporto pubblico urbano relativa a tutta la popolazione (% sugli spostamenti motorizzati 2000 ÷ 2008***

Nel 2008 sono aumentati gli spostamenti effettuati con i mezzi pubblici in ambito urbano con un considerevole incremento del 15,1% che segue il già ottimo risultato avutosi nel 2007 (+18,3%). Da notare inoltre nel 2008 che, mentre crescono complessivamente i passeggeri trasportati sui mezzi pubblici, si è determinata una contrazione del peso del trasporto urbano su ferro rispetto a quello su gomma mostrando la rigidità dei vettori ferroviari nell'assorbire quote aggiuntive di domanda, a fronte di un'articolazione della rete e di una conseguente organizzazione dei servizi che restano sempre le stesse o si espandono con molta gradualità.

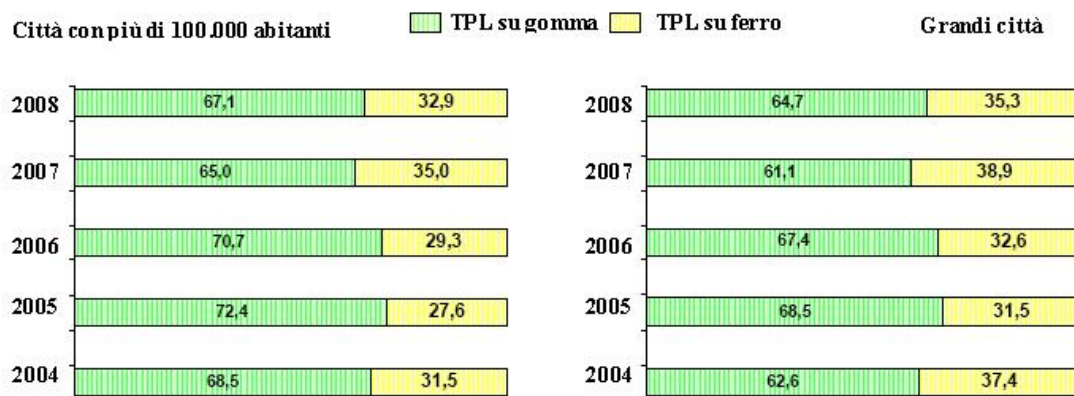



**Figura 6 :** ***La ripartizione del Trasporto Pubblico Urbano su gomma e ferro (% Spostamenti)***

Osservando l'andamento del trasporto pubblico si nota che la crescita del trasporto pubblico nel 2008 ha interessato soprattutto le grandi città, dove l'incidenza sul complesso degli spostamenti è salita nel 2008 al 29,3%

dal 27,7% del 2007 riportandosi al livello del 2006, mentre è in piena crisi invece l'incidenza dei mezzi collettivi nei piccoli centri, con un peso attestato ad appena il 4% degli spostamenti motorizzati dopo la punta al 9,1% del 2002.

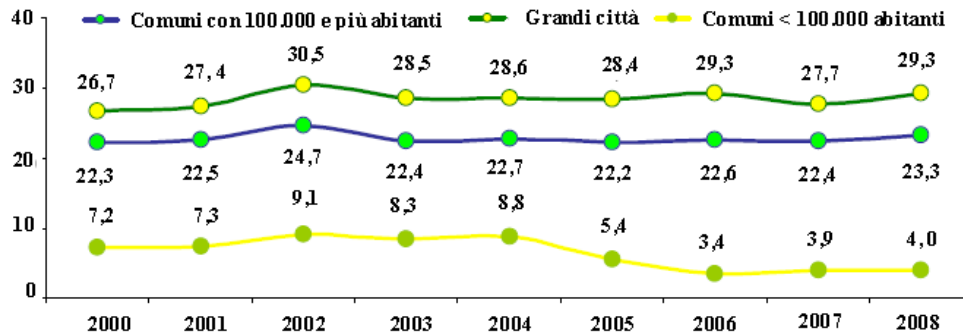



**Figura 7 :** ***La quota mercato del trasporto pubblico urbano (% sugli spostamenti motorizzati 2000 ÷ 2008***

Per quanto concerne la ripartizione d'uso dei mezzi motorizzati di trasporto nelle diverse circoscrizioni territoriali appare molto preoccupante il dato registrato al Sud in cui domina largamente lo spostamento in auto con oltre l'85% dei viaggi in misura di gran lunga maggiore rispetto alle altre circoscrizioni territoriali mentre il trasporto collettivo, la cui presenza è già modesta, perde nel 2008 ulteriori posizioni attestando la propria quota modale ad appena il 5,7% a meno della metà della media.

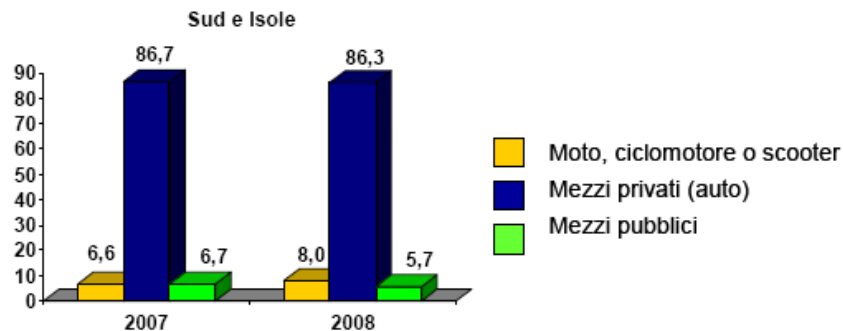



**Figura 8 :** ***La ripartizione del mercato urbano dei mezzi di trasporto motorizzati per il Sud e Isole ( % Spostamenti)***

Inoltre i dati del 2008 mostrano che il 41,6% dei cittadini intervistati afferma di voler utilizzare maggiormente i mezzi pubblici in futuro, quota che sale al 46% tra i residenti nelle grandi città a dimostrazione di un atteggiamento favorevole al riequilibrio modale specie attraverso un incremento del ricorso al mezzo pubblico [8].
L' autobus, che risulta il mezzo pubblico più utilizzato, soddisfa due tipologie di utenti : gli *occasionali* e i *sistematici* distinti per caratteristiche socio-demografiche e conseguentemente per tipo di spostamenti e motivazioni. I primi sono soprattutto persone anziane, prevalentemente di sesso femminile che usano i mezzi per attività diverse dallo studio e lavoro, attività invece tipiche degli utenti sistematici. Per quanto riguarda invece la tipologia di autobus, per quello urbano gli utenti sono prevalentemente costituiti da anziani pensionati soprattutto di sesso femminile, da giovani studenti, da casalinghe, seguite a distanza dagli impiegati, in prevalenza donne. La presenza di pensionati è prevalente negli utenti occasionali, mentre in quelli sistematici prevalgono gli studenti, pur avendo anche qui i pensionati un peso rilevante. Per la condizione professionale degli utenti dell'autobus extraurbano risulta che i giovani studenti prevalgono sugli anziani pensionati, che in questo caso sono costituiti, ancor più che negli altri casi, da donne. Gli utenti occasionali dell'autobus sono invece meno concentrati e ritroviamo la predominanza dei pensionati.
In conclusione, in una fase di crescita della domanda, è necessario che il lato dell'offerta sappia attrezzarsi rapidamente per sostenere l'incremento di mobilità sia in termini di incremento quantitativo dei servizi che di miglioramento effettivo delle prestazioni qualitative e di percezione collettiva degli standard qualitativi dei servizi, attraverso una politica di intervento meno episodica e più strategica sia sul versante degli investimenti che assicuri annualmente risorse sufficienti a realizzare un

potenziamento e un ammodernamento delle flotte di autobus, sia sul lato delle gestioni operative, che risulti finalizzata a potenziare l' attrattività del mezzo pubblico di trasporto.

Nel momento in cui si progettano e si destinano risorse a soluzioni alternative alla mobilità privata, bisogna pensare alla dimensione della sicurezza e offrire condizioni di contesto e regole più adeguate, a beneficio dei fruitori del servizio e anche di tutti coloro comunque colpiti indirettamente da un eventuale evento incidentale altrimenti si potrebbero determinare come effetti indiretti oltre che perdita dei servizi delle autolinee, costi di riparazione dei veicoli e altre spese come quelle legali o anche eventuali danni all'immagine e perdite di consensi e di fette di mercato.

Il problema della sicurezza è comune ai diversi settori dei trasporti, ma si presenta con dimensioni molto dissimili a causa delle differenze dei livelli qualitativi delle infrastrutture, delle condizioni dei veicoli, dei sistemi di controllo esistenti e dei differenti livelli di professionalità del personale. Nelle modalità più organizzate e tecnologicamente più avanzate la sicurezza è fortemente legata ai controlli automatici, centralizzati e standardizzati; nelle modalità, come il trasporto su gomma, essa è demandata prima ai costruttori e in seguito lasciata ai singoli soggetti, in ogni caso bisogna notare, che per gli autobus, gli indicatori sinistrosità in rapporto alle altre modalità di trasporto sono molto bassi.

La sicurezza nei trasporti comporta dei costi, sia per le imprese che svolgono l' attività, in termini di risorse spese per la realizzazione di mezzi di trasporto sicuri ed infrastrutture adeguate a tali mezzi, sia per lo Stato, che deve creare e mantenere strutture sicure ed assicurare servizi in grado di rispondere prontamente ed efficacemente al verificarsi di incidenti. Inoltre sono da considerare sia i costi economici che la società

deve sostenere a seguito di un evento incidentale derivanti da : trattamenti medici, oneri previdenziali per invalidità, danni materiali, attività amministrative collegate, congestione legata al traffico e mancanza di produttività delle persone ferite e morte, che i costi sociali cioè quelli derivanti dagli shock e i costi immateriali legati alle pene ed alle sofferenze derivanti dagli incidenti.

Da ciò si desume l'importanza della sicurezza dei trasporti all'interno di un Paese e non può esistere un trasporto efficiente senza sicurezza e per essere tale deve soddisfare determinati requisiti di sicurezza, sia in termini di **safety** intesa come il "livello di pericolo intrinseco socialmente accettabile in un qualsiasi contesto reale", associata ad eventi in genere dannosi di natura casuale e/o accidentale e che per un sistema tecnico dipende dalle specifiche caratteristiche e dal modo in cui è stato progettato, sia di **security** che rappresenta le disposizioni messe in atto per proteggere gli individui, i mezzi di trasporto e le relative infrastrutture contro eventi improvvisi di qualsiasi genere, specie di natura colposa.

Fondamentali quindi diventano per la sicurezza : l'emanazione di provvedimenti legislativi e di norme tecniche che individuino degli standard di sicurezza più elevati tendenti a ridurre l'incidentalità, l'individuazione di indicatori e metodi comuni di sicurezza al fine di consentire una maggiore armonizzazione nell' Unione Europea delle norme nazionali, la diffusione di nuove tecnologie e la gestione e il monitoraggio delle flotte di veicoli attraverso sistemi informativi computerizzati  ma soprattutto il fattore umano è da prendere in considerazione se si vuole che le misure tecniche proposte siano applicate in modo efficace per cui il ruolo dell'ingegneria di manutenzione nell'organizzazione dei processi manutentivi dei mezzi di trasporto non va più considerata unicamente nella sua dimensione di costo ma anche come un'opportunità per favorire il posizionamento nel mercato.

## 1.2 L' AUTOBUS

L'autobus è il sistema di trasporto collettivo più utilizzato che trasporta esclusivamente persone ed i loro bagagli personali e che allo stadio di sviluppo attuale è un sistema tecnico molto più evoluto e complesso di quanto non sia normalmente percepito, risulta infatti il frutto di un evoluzione lunga un secolo : in Italia i primi autobus entrano in funzione a Roma intorno al 1910 {1}; negli anni trenta inizia ad essere installato il motore diesel ormai sufficientemente piccolo e nascono gli autobus a due piani; negli anni quaranta appare la carrozzeria in lega leggera; negli anni sessanta i motori con compressore volumetrico e i motori a sogliola con cilindri orizzontali e ridotto ingombro verticale che consente la collocazione in posizione centrale con vibrazioni e rumori che si allontanano dal conducente, successivamente si passa a telai specifici non più adattati da quelli degli autocarri e nasce la sovralimentazione che aumenta la potenza e riduce le dimensioni ('68); a fine anni '70 il motore passa dietro e così, tolti gli ingombri del motore, si abbassa il pianale, passando prima a un gradino e poi agli autobus senza gradini interni, prima sul due porte e nel '94 anche sulla terza porta posteriore che consente un agevole incarrozzamento anche ai passeggeri disabili. Le condizioni specifiche dell'Italia e delle sue città influenzano l'architettura e la tecnologia dell'autobus spingendo a soluzioni pensate per le città storiche come la soluzione dei veicoli da 10 metri tipicamente italiana e vista la vicinanza del mare e la conseguente atmosfera salina a impieghi di acciaio inox, leghe leggere e materiali compositi per la protezione contro la corrosione. Notevoli inoltre sono state le innovazioni introdotte nell'ambito della sicurezza attiva e passiva come il sistema multiplex negli impianti elettrici, che consente di instradare su un solo conduttore più segnali, con un risparmio di chilometri di cavo e aumento

dell'affidabilità, come gli impianti antincendi nel vano motore, telecamere interne e sistemi di monitoraggio degli impianti di bordo con la gestione e la diagnosi elettronica della manutenzione preventiva. L'autobus, il cui termine è composto da due parti {2}, bus dal latino omnibus cioè per tutti e il prefisso auto, a sua volta contrazione di autovettura che è definito brevemente anche solo come bus, presenta diversi **vantaggi**[3] come:

- ✓ un' elevata *versatilità* grazie alla possibilità di poter essere messo in esercizio sulle strade ordinarie e su strade strette per le dimensioni contenute di alcuni modelli e alla possibilità di poter variare i tracciati delle linee e la posizione delle fermate, alla guida non vincolata e alle ruote di gomma, che consentono aderenza e accelerazione simile a quella degli altri veicoli;
- ✓ l' *economicità* in quanto non richiede grossi costi di investimento, esercizio e manutenzione;

di contro come **svantaggi** mostra prestazioni limitate in termini di :

- ✓ *regolarità di servizio* essendo soggetto al traffico veicolare;
- ✓ *capacità di trasporto* che risulta abbastanza inferiore a quella dei sistemi a guida vincolata;
- ✓ *velocità commerciali* che risultano modeste per l'elevato numero di fermate rispetto ai sistemi a guida vincolata, per le prestazioni dei veicoli e per l'influenza del traffico veicolare.

A seconda del tipo di alimentazione possono individuarsi 4 categorie :

- ✓ **alimentazione termica convenzionale** : a gasolio la tipologia più diffusa o a benzina con potenza massima variabile tra i 75 e 165 kW;
- ✓ **alimentazione termica alternativa** : a GPL, a gas metano ecc;
- ✓ **elettrici** : in genere minibus utilizzati nei centri storici per ridurre gli impatti sull'ambiente (inquinamento acustico e atmosferico),

aventi ridotta autonomia per la capacità limitata delle batterie e dai costi elevati di acquisto e manutenzione;

- ✓ **ibridi** : hanno a bordo due motori, uno elettrico alimentato da un alternatore alimentato a sua volta da un motore termico in genere a benzina, ma anche a diesel o a gas, con batterie interposte tra i due motori che immagazzinano energia e la rilasciano in salita o nei centri storici, solo in mezzi prodotti in piccole serie o in prototipi.

Infine la trazione con motore a idrogeno tramite celle combustibili è attualmente in fase di sperimentazione in tutto il mondo ed esistono anche autobus alimentati a bioetanolo {2}, combustibile di origine naturale.
La trazione è generalmente posteriore ossia effettuata dalle ruote posteriori, in cui il motore è posizionato sullo sbalzo posteriore del veicolo, parte di veicolo dietro le ruote posteriori, mentre nel caso di veicoli derivati, la trazione è anteriore ossia il motore è posizionato sullo sbalzo anteriore del veicolo, davanti alle ruote anteriori, tipica di autobus progettati a partire da telai per autocarri ai quali vengono fatte alcune modifiche per adattarli al trasporto di persone e definiti generalmente minibus anche se raggiungono dimensioni di oltre 7 metri.

### 1.2.1 La sicurezza degli autobus

La necessità di maggiore sicurezza, efficienza e qualità nei trasporti collettivi, oltre che per la riduzione dei costi di esercizio e per motivi di impatto ambientale ha indotto l'industria del settore autobus a rinnovare e diversificare la gamma di prodotti, approssimandosi sempre più agli standard delle automobili, offrendo sul mercato non più un prodotto fortemente standardizzato ma nuovi modelli e alternative più ricche di optional e personalizzazioni a seconda delle richieste delle aziende di trasporto.

La sicurezza dei veicoli è aumentata attraverso l' introduzione di soluzioni tecniche sofisticate e con l'utilizzazione dell'elettronica a bordo che fornisce nuovi dispositivi, sistemi di sicurezza e di diagnostica (monitor in plancia) dei diversi componenti del veicolo che consentiranno sempre più di tenere sotto controllo e in maniera sistematica, l'efficienza del veicolo da parte dell' autista, in modo da prevenire eventuali guasti e consentire una migliore programmazione della manutenzione e conseguente diminuzione dei relativi tempi e costi connessi agli interventi di emergenza. In fase applicativa o sperimentale risultano già sistemi come :

- ✓ i *sistemi di localizzazione* e *gestione delle flotte* che assicurano informazioni in tempo reale all'utenza, qualità e affidabilità nei servizi;
- ✓ la *telediagnosi* per il controllo di parametri motoristici al fine di una migliore gestione delle missioni operative e di ottimizzare la manutenzione prevenendo situazioni di criticità quali guasti, cali di prestazioni, riduzione dei disservizi. La telediagnosi opera attraverso : la *telemetria*, che consente di visualizzare in tempo reale l' andamento temporale delle grandezze acquisite dal sistema e verificare istantaneamente lo stato del veicolo; la *lettura remota dei codici di errore* presenti nel sistema, che permette l' accesso alle informazioni di autodiagnosi dei diversi apparati di bordo e una individuazione remota della causa di guasto; la lettura della *Black-box*, che registrando l'andamento temporale delle grandezze monitorate nel periodo antistante e successivo al verificarsi di allarmi nel corso dell' esercizio, consente successivamente una analisi più approfondita della causa di allarme.

La gestione delle informazioni si è avuta con l' introduzione nell'autobus di:

- ✓ un' *unità telematica di bordo,* ossia una scheda elettronica che coordina le informazioni per la gestione di strategie di propulsione ed emissione, per la segnalazione di anomalie ai conducenti e per l'assistenza alla guida, per i servizi di informazione e controllo della flotta verso la centrale operativa;
- ✓ sistemi *IntelliBus* : che consentono la registrazione nella memoria del sistema stesso degli allarmi rilevati dalla diagnostica, il monitoraggio degli andamenti nel tempo delle grandezze rilevanti analogiche, specie di impianti critici, rilevate dalle centraline elettroniche tramite i sensori consentendo alla fine di ogni missione il trasferimento, la memorizzazione in un data base, confronti fra dati provenienti da veicoli che compiono missioni simili e l'analisi dei dati raccolti attraverso elaborazioni e procedure automatiche che segnalano alla manutenzione la presenza di anomalie degli impianti;
- ✓ sistemi di *collegamento remoto* tipo via *GSM* in grado di inviare alla centrale segnalazioni di decadimenti prestazionali o di avarie rilevate autonomamente dal sistema in tempo reale consentendo in tal modo di avviare una diagnosi dell'allarme, accertare lo stato del veicolo, individuare la causa di allarme e stabilire gli interventi correttivi più opportuni prevenendo così un eventuale un fermo macchina tramite o una riparazione in loco o rimuovendo anticipatamente l'autobus dal servizio.

## 1.3 LE CLASSIFICAZIONI DEGLI AUTOBUS

In base al **D.M. del 18/04/77** dal punto di vista delle caratteristiche costruttive i veicoli adibiti al trasporto di persone, destinati sia all'uso pubblico sia all'uso privato si distinguevano in :

a) **autobus** : veicoli destinati al trasporto di persone con numero di posti superiore a 16, escluso il conducente;
b) **minibus** : veicoli per trasporto di persone con un numero di posti superiore a 8 e non superiore a 16, escluso il conducente, vale a dire quindi tra 10 e 16, comprendendo il conducente;
c) **scuolabus** : veicoli derivati da quelli indicati alla lettera *a*) prescindendo dal numero dei posti, destinati al trasporto di studenti delle scuole dell'obbligo (materne, elementari e medie) ed eventuali accompagnatori e aventi allestimenti particolari in relazione all'uso cui sono destinati;
d) **mini-scuolabus** : veicoli derivati da quelli indicati alla lettera *b*) prescindendo dal numero dei posti, (generalmente sono con meno di 16 posti, compreso il conducente), destinati al trasporto di studenti e aventi allestimenti particolari in relazione all'uso cui sono destinati.
e) **autobus snodato (autosnodato) per trasporto persone** : veicolo unico agli effetti dell'art. 58 del testo unico delle norme di circolazione, destinato al trasporto di persone con numero di posti superiore a 16 (escluso il conducente) composto di due elementi rigidi collegati tra loro in modo permanente con una sezione snodata.

Gli **autobus** possono essere adibiti ad:

1. **uso di terzi** che comprende:
   - ✓ locazione senza conducente;
   - ✓ servizio di Noleggio Con Conducente (NCC);
   - ✓ servizio di linea per trasporto di persone.
2. **uso proprio** che comprende:
   - ✓ servizio privato;
   - ✓ servizio scuolabus.

I veicoli di cui ai punti *a*) e *b*) destinati al **servizio pubblico** di linea si suddividono nelle seguenti categorie :

- ✓ **urbano** : veicolo attrezzato per trasporti urbani, munito di sedili e spazi destinati a passeggeri in piedi allestito in modo da permettere gli spostamenti dei passeggeri resi necessari dalle frequenti fermate; vengono impiegati per il trasporto cittadino a breve raggio, presentano un maggior numero di posti in piedi, (ammessi dal Codice della Strada solamente per tragitti urbani o comunque corti, cioè compresi tra poche fermate), rispetto a quelli seduti al fine di garantire una migliore circolazione dei passeggeri sia in entrata che in uscita dall'autobus mentre se di posti seduti ce ne fossero come sugli interurbani si farebbe più fatica soprattutto quando l'autobus è pieno a far scendere i passeggeri, dovendo tutte le volte far spostare decine di persone anche solo per farne scendere una; generalmente se il bus ha 2 porte si sale da davanti e si scende dal centro, se sono 3 quella centrale è per la discesa e le altre due per la salita, se invece le porte sono complessivamente 4, le due centrali sono adibite alla discesa, mentre l'anteriore e la posteriore per l'entrata; si contraddistinguevano per il colore arancio, ma le attuali normative del settore non impongono più tale colorazione;
- ✓ **suburbano** : veicolo attrezzato per trasporti suburbani munito di sedili e spazi destinati a passeggeri in piedi. Il numero dei posti a sedere non deve essere inferiore al 40 % (35% per l'autobus snodato ed autotreno) dei posti totali; impiegati in percorsi di media lunghezza, erano solitamente di colore arancio (in Lombardia di colore blu) ma la normativa non impone più una colorazione specifica, almeno in quelle regioni dove non c'è colorazione obbligatoria di un certo tipo; destinato a percorsi che

comprendono tratti urbani e tratti che transitano in periferie dei centri abitati, o comunque in zone meno densamente popolate, in cui non c'è lo stesso flusso di passeggeri sia in entrata che in uscita dall'autobus; di solito sono a 3 porte, a volte 4 (due per l'entrata, una davanti e una dietro, e quella centrale per l'uscita, o due se ci sono due porte centrali), ma possono essere a 2 porte (decide il vettore come organizzare salita e discesa, nella maggior parte dei casi si entra davanti e si esce da dietro).

- ✓ **interurbano** : veicolo attrezzato per i trasporti interurbani che non richiede spazi specificamente destinati a passeggeri in piedi (con almeno il 65% dei posti a sedere), è consentito peraltro il trasporto su brevi percorsi di passeggeri in piedi, nel corridoio di circolazione; impiegati per percorsi di lunga distanza tra più località; erano di colore blu per il servizio regionale e rosso per quello interregionale, ora questa distinzione non è più obbligatoria ma di fatto convenzionale;
- ✓ **gran turismo** : veicolo attrezzato per viaggi a grande distanza, allestito in modo da assicurare una particolare confortevolezza ai passeggeri che non trasporta passeggeri in piedi; solitamente erano di colore azzurro-grigio ma con le nuove leggi e disposizioni attualmente non esiste una colorazione obbligatoria per tale tipologia; è identificato anche con il termine inglese *coach* nella la versione di linea per viaggi a lunga percorrenza.

I veicoli destinati al **servizio privato** si distinguono, secondo l'uso, in :

- ✓ privato al servizio di imprenditori, collettività e simili;
- ✓ noleggio con conducente.

Con traffico di **autobus a noleggio** (**NCC** = noleggio con conducente) si intende una forma di traffico occasionale con autoveicoli che possono essere offerti tramite un'azienda di trasporto, noleggiato in toto dal

passeggero, con obiettivo, scopo e svolgimento del tragitto definito e concordato dai noleggianti che possono anche essere un circolo di persone di appartenenza, (come ad esempio classi scolastiche); il traffico necessita di un permesso delle autorità di traffico competenti e non sono autorizzati a fermarsi sulle strade pubbliche e sulle piazze al fine di far salire i passeggeri.

I veicoli destinati al servizio pubblico di linea venivano individuati esternamente dalla **colorazione** fondamentale indicata a fianco di ciascuna categoria:

- ✓ urbano e suburbano : giallo-arancio;
- ✓ interurbano su linee a concessione regionale : azzurro;
- ✓ interurbano su linee a concessione statale : rosso o azzurro;
- ✓ gran turismo : celeste e grigio chiaro.

Gli scuolabus ed i miniscuolabus invece esternamente dalla colorazione fondamentale giallo-limone mentre gli altri veicoli adibiti al servizio privato dovevano avere colorazioni differenti da quelle sopraindicate.

Il **D.M. del 29/04/86** modificava le colorazioni degli interurbani nel modo seguente : interurbano regionale : azzurro; interurbano interregionale : rosso.

Il **D.M. del 18/07/86** suddivide i veicoli in base alle dimensioni di ingombro esterne in : snodato, lungo, normale, medio, corto e cortissimo, e precisamente comprese entro i limiti seguenti :

**Tabella 2 :** ***Classificazione autobus in base agli ingombri***

| Tipo di veicolo | Lunghezza (m) | Larghezza (m) |
|---|---|---|
| Snodato | 17,4-18,0 | 2,45-2,50 |
| Lungo | 11,8-12,0 | 2,45-2,50 |
| Normale | 10,3-10,8 | 2,45-2,50 |
| Medio | 8,6-9,7 | 2,30-2,50 |
| Corto | 6,3-7,7 | 2,00-2,50 |
| Cortissimo | 5,0-6,0 | 1,90-2,10 |

Il **D.M. del 2/10/87** definisce le caratteristiche funzionali e di approvazione dei tipi unificati di «autobus e minibus destinati al trasporto di persone a ridotta capacità motoria anche non deambulanti» ed «autobus, minibus ed autobus snodati con posti appositamente attrezzati per persone a ridotta capacità motoria».
Il **D.M. del 26/10/91** determina le caratteristiche funzionali degli autobus ecologici e con alimentazione alternativa individuando gli autobus ecologici e quelli con alimentazione alternativa.
Secondo **D.Lgs. 30/04/1992 n.285** che ha emanato il **Nuovo codice della strada**, si intendono per **veicoli** tutte le macchine di qualsiasi specie, che circolano sulle strade guidate dall'uomo. Non rientrano nella definizione di veicolo quelle per uso di bambini o di invalidi, anche se asservite da motore, le cui caratteristiche non superano i limiti stabiliti dal regolamento. In base all'articolo 47 del suddetto gli autobus rientrano nella **categoria M** cioè nei veicoli a motore destinati al trasporto di persone ed aventi almeno quattro ruote a sua volta suddivisa in :

- ✓ **categoria M1** : veicoli destinati al trasporto di persone, aventi al massimo otto posti a sedere oltre al sedile del conducente;
- ✓ **categoria M2** : veicoli destinati al trasporto di persone, aventi più di otto posti a sedere oltre al sedile del conducente e massa massima non superiore a 5 t;
- ✓ **categoria M3** : veicoli destinati al trasporto di persone, aventi più di otto posti a sedere oltre al sedile del conducente e massa massima superiore a 5 t.

Il **D.M. del 01/06/2001** e il **D.M. 13-1-2004** considerato il venir meno, in seguito ai processi di integrazione e liberalizzazione comunitari, della esigenza di una colorazione esterna imposta per norma, abroga le normative sulle colorazioni.

Con il **D.M. del 20/06/2003** infine vengono classificati in base alla capacità di trasporto e si definisce :

*veicolo* : un veicolo della categoria M2 o M3 definito all'allegato II, Parte A della *direttiva 70/156/CEE*;

i veicoli la cui capacità *supera* i 22 passeggeri, oltre al conducente, si suddividono in tre classi :

1. **classe I** : veicoli costruiti con zone destinate ai passeggeri in piedi, per consentire loro spostamenti frequenti; nel cui ambito rientrano le seguenti tipologie di bus coi rispettivi codici di carrozzeria:
   - ✓ **CA :** autobus a un piano;
   - ✓ **CB :** autobus a due piani;
   - ✓ **CC :** autosnodato a un piano;
   - ✓ **CD :** autosnodato a due piani;
   - ✓ **CE:** autobus a un piano con pianale ribassato;
   - ✓ **CF:** autobus a due piani con pianale ribassato;
   - ✓ **CG:** autosnodato a un piano con pianale ribassato;
   - ✓ **CH:** autosnodato a due piani con pianale ribassato
2. **classe II** : veicoli destinati principalmente al trasporto di passeggeri seduti, progettati in modo da poter trasportare passeggeri in piedi nella corsia e/o in una zona di superficie non superiore allo spazio occupato da due sedili doppi; suddivisi in :
   - ✓ **CI:** autobus a un piano;
   - ✓ **CJ:** autobus a due piani;
   - ✓ **CK:** autosnodato a due piani;
   - ✓ **CL:** autosnodato a due piani;
   - ✓ **CM:** autobus a un piano con pianale ribassato;
   - ✓ **CN:** autobus a due piani con pianale ribassato;
   - ✓ **CO:** autosnodato a un piano con pianale ribassato;

- ✓ **CP:** autosnodato a due piani con pianale ribassato;

3. **classe III** : veicoli destinati esclusivamente al trasporto di passeggeri seduti; suddivisi in :

- ✓ **CQ:** autobus a un piano;
- ✓ **CR:** autobus a due piani;
- ✓ **CS:** autosnodato a un piano;
- ✓ **CT:** autosnodato a due piani;

un veicolo può appartenere a più classi: in tal caso può essere omologato per ciascuna classe di appartenenza;

I veicoli la cui capacità *non supera* i 22 passeggeri, oltre al conducente, si suddividono in due classi:

- ✓ **classe A** : veicoli destinati al trasporto di passeggeri in piedi; i veicoli appartenenti a tale classe sono predisposti per i passeggeri in piedi; suddivisi in :
  - ✓ **CU:** autobus a un piano;
  - ✓ **CV:** autobus a un piano con pianale ribassato;
- ✓ **classe B** : veicoli non destinati al trasporto di passeggeri in piedi; i veicoli appartenenti a tale classe sono predisposti per i passeggeri in piedi; che individua solo la seguente categoria :
  - ✓ **CW:** autobus a un piano.

Per **veicolo snodato** si intende un veicolo costituito da due o più parti rigide collegate tra loro da una sezione snodata; i vani passeggeri di ciascuna parte sono intercomunicanti in modo che i passeggeri possano spostarsi liberatamene; le parti rigide sono collegate stabilmente in maniera da poter essere separate unicamente con attrezzature di norma disponibili soltanto in officina; per **veicolo snodato a due piani** si intende un veicolo costituito da due o più parti rigide collegate tra loro da una sezione snodata; i vani passeggeri di ciascuna parte sono intercomunicanti su almeno uno dei piani in modo che i passeggeri

possano spostarsi liberatamene; le parti rigide sono collegate stabilmente in maniera da poter essere separate unicamente con attrezzature di norma disponibili soltanto in officina; per **autobus a pianale ribassato** si intende un veicolo della classe I, II o A nel quale almeno il 35% della zona disponibile per i passeggeri (nella parte anteriore per i veicoli snodati e nel piano inferiore per i veicoli a due piani) costituisce una zona continua senza gradini ed include l'accesso ad almeno una delle porte;
Il **D.M. del 23/12/2003** individua la corrispondenza della classificazione degli autobus omologati ai sensi del D.M. 18 aprile 1977 alle classi introdotte dal D.M. 20 giugno 2003 e stabilisce la seguente :

**Tabella 3:** ***Corrispondenza fra i diversi D.M.***

| **D.M. 18 /4/1977** | | **D.M.20/06/2003 (Direttiva 2001/85/CE)**<br>**D.M.14/11/1997 (Direttiva 97/27/CE)** | |
|---|---|---|---|
| | | N° passeggeri > 22 | N° passeggeri ≤ 22 |
| Urbano | → | Classe I | Classe A |
| Suburbano | → | Classe I | Classe A |
| Interurbano con passeggeri in piedi | → | Classe II | Classe A |
| Interurbano senza passeggeri in piedi | → | Classe III | Classe B |
| Granturismo | → | Classe III | Classe B |
| Noleggio con conducente | → | Classe III | Classe B |
| Privato | → | Classe III | Classe B |

Il criterio di corrispondenza è valido solo in senso unidirezionale dal decreto ministeriale 18 aprile 1977 al decreto ministeriale 20 giugno 2003 e non è applicabile la corrispondenza in senso contrario.

## 1.4 L'AZIENDA OSPITANTE : CTP S.P.A.

La Compagnia Trasporti Pubblici Spa gestisce il servizio trasporto pubblico urbano ed extraurbano nelle provincie di Napoli e Caserta (compreso l'Agro Aversano e il litorale Domitio), per un totale [12] di 72 comuni (45 della provincia di Napoli e 27 della provincia di Caserta), con una rete di 131 autolinee operanti su 2300 km.

### 1.4.1 La storia della società

Le origini [13] della Compagnia Trasporti Pubblici S.P.A. (CTP) possono farsi risalire all' 11 giugno del **1881** quando a Bruxelles Alfonso ed Eduardo Otlet fondarono la "Societè Anonyme des tramways à vapeur de Naples", concessionaria dei servizi tranviari e degli autoservizi nell'area suburbana a nord di Napoli. **Tre anni dopo** l'azienda venne liquidata e le subentrò la "Società anonime des tramways provinciaux de naples" con sede a Bruxelles. Alla sua guida si posero l'ingegnere belga Eugenio Bousson e il parigino Paolo Hammelrath (liquidatori della società precedente), mentre a Napoli operava, per procura, Celestino Grea. Nonostante i difficili inizi legati allo scarso capitale sociale che era stato assorbito in gran parte dall'acquisto della concessione, nel 1890 la società aveva già in esercizio 25,1 km di linea tranviaria in direzione Giugliano e subito dopo anche la linea, da essa stessa costruita, che collegava Napoli a Frattamaggiore e Sant'Antimo ed Aversa. Agli inizi del secolo realizzò l'elettrificazione di tutte le linee e l' installazione alla Doganella di una centrale autonoma di 1050 cv.

Nel **1957** avvenne il passaggio dalla gestione privata a pubblica : gli impianti e gli esercizi della società belga vennero acquisiti dalle "Tramvie Provinciali di Napoli S.P.A." di proprietà esclusiva del Comune di Napoli. A seguito del passaggio alla gestione privata a

pubblica iniziò una intensa attività di rinnovamento ed espansione che portò **tra il 1957 e il 1976** ad un ammodernamento dell' ormai vecchio servizio tranviario e alla istituzione della filolinea Aversa-Napoli, alla acquisizione della gran parte delle autolinee private della provincia di Napoli e Caserta ed infine all' assorbimento delle attività ferroviarie ed automobolistiche della Compagnia Ferroviaria del Mezzogiorno d'Italia (CFMI). Nel **1978** alla TPN del Comune di Napoli, messa in liquidazione, subentrò un consorzio tra Comune e Provincia di Napoli con quote suddivise al 50% denominato "Consorzio trasporti Pubblici di Napoli" (CTP) poi trasformato dal 27 marzo 2001 in società per azioni a capitale pubblico e assumendo la denominazione "Compagnia Trasporti Pubblici S.P.A." (D.Lgs 422/97) con azioni di proprietà del Comune di Napoli e della Provincia di Napoli al 50% e uguale partecipazione a capitale. La nascita di CTP Spa non rappresenta solo una semplice cesura giuridico-istituzionale, ma un passaggio verso una diversificazione dell' azione aziendale ed un' estensione degli interessi ad attività e servizi connessi alla mobilità, che condurrà ad acquisizioni, partecipazioni e spin-off. Infatti a partire dal 2002 la rinnovata impresa impegnandosi in attività contigue investe e si trova a controllare diverse società:

- ✓ la *Servizi trasporti integrati* S.P.A. (STI) con una partecipazione CTP del 60%, (con il restante 40% di proprietà della STM S.P.A.) costituita nel 2002 per la gestione dei servizi di trasporto pubblico urbano, scale mobili e ascensori nella città di Potenza, nel 2005 poi l' Assemblea Straordinaria ha messo in liquidazione la società;
- ✓ la *Servizi per l'impresa e lo sviluppo* Srl (SIS) con una partecipazione del 51%, in società con Formimpresa e EQC, costituita nel 2004, opera nell'ambito della consulenza organizzativa e nello sviluppo e gestione delle Risorse Umane occupandosi delle attività interne a CTP relative a formazione del

personale, comunicazione interna, qualità, ambiente, responsabilità sociale, sviluppo sostenibile delle imprese e di fornire i medesimi servizi ad altre aziende pubbliche e private;

- ✓ la *Vesuviana Mobilità* srl, con una partecipazione del 40%, in società con Circumvesuviana ed ANM, costituita nel 2003, per la gestione del servizio di trasporto locale su gomma e di future aree di parcheggio di alcuni comuni vesuviani;
- ✓ la *City sightseeing Napoli* Srl, con una partecipazione del 26%, in società con ANM e EAV (Ente Autonomo Volturno) costituita nel 2003 per visite turistiche della città di Napoli, con autobus scoperti a due piani, lungo gli itinerari di maggior interesse paesaggistico e storico culturale e per la gestione del trasporto pubblico turistico nella città di Napoli e nel territorio circostante;
- ✓ *l'Agenzia Napoletana energia e ambiente* (ANEA), con una partecipazione del 20%, ente indipendente e senza fini di lucro che promuove l'uso razionale dell'energia, la diffusione delle fonti rinnovabili e la tutela dell'ambiente.
- ✓ la *Napoli Metano* S.P.A. (NAMET), con una partecipazione del 60% (con il restante 40% inizialmente della società Viaggiare Domani Srl successivamente ABC ITALIA eTHECLA) costituita nel 2003 per la gestione dell'impianto di distribuzione di gas-metano nel deposito di Arzano e per la manutenzione degli autobus a metano e dei servizi connessi. Nel corso degli anni successivi **Namet** {3}è diventato centro d' eccellenza per la progettazione di infrastrutture di rifornimento e di depositi per flotte alimentate a metano, per la gestione di stazioni di servizio, per la gestione e la manutenzione di depositi e di flotte di autoveicoli (gestisce 130 autobus a metano e 35 a gasolio della CTP), per carburanti autotrazione a basso impatto ambientale, per

tecnologie di risparmio energetico, per la riduzione delle emissioni inquinanti. La missione della società è essere Leader in Italia nel segmento dei carburanti alternativi e delle tecnologie per il risparmio energetico, creando valore aggiunto ai clienti e offrendo soluzioni innovative e servizi, fornire soluzioni integrate comprendenti l'ingegneria, la costruzione, l'avviamento, l'assistenza tecnica e la gestione di impianti. Gestisce ad Arzano una propria stazione di servizio composta di un area interna al deposito CTP destinata a rifornire la flotta a metano della stessa CTP e una adiacente al deposito dedicata al pubblico per la vendita a mezzi privati. Il tetto della propria officina è costituito da pannelli fotovoltaici semitrasparenti che consente una produzione di energia elettrica in misura di 80 kWh di picco sufficiente a coprire i fabbisogni dell'intero deposito CTP. Ha avviato un proprio percorso, nell' utilizzo di miscele Metano + Idrogeno, che è ritenuto essere il ponte verso la trazione a Idrogeno e si sta valutando l'inserimento di un sistema di produzione idrogeno alimentato dall'impianto fotovoltaico, la miscelazione idrogeno e metano, la compressione della miscela e distribuzione ai veicoli attraverso l'impianto originario, da utilizzarsi nell'attuale flotta di bus a metano per esaminare l'impatto ambientale, tecnico, gestionale, ed economico; inoltre ha iniziato a testare un programma di gestione della manutenzione denominato "Guida" che fornisce un feedback sui dati relativi alla gestione della manutenzione dei singoli veicoli, dei lotti omogenei e dell'intera flotta, favorendo il miglioramento delle tecniche di manutenzione, l'aumento dell' affidabilità e della disponibilità della flotta, l'adeguamento delle prestazioni della flotta al miglior veicolo

campione. Infine offre la gestione dei mezzi alle aziende che esercisconono flotte, consentendo alle aziende di :

- ✓ concentrarsi sul proprio "core business" senza occuparsi della gestione tecnica e operativa del parco mezzi, della loro manutenzione e del rifornimento;
- ✓ mettere in atto economie di scala per la gestione contemporanea di più depositi con problematiche simili;
- ✓ beneficiare di un costo pianificabile, flessibile e trasparente, con l'eliminazione di costi occulti;
- ✓ offrire la locazione a lungo termine dei veicoli, col trasferimento totale di ogni forma di rischio finanziario, assicurativo, e organizzativo.

Inoltre la CTP in associazione temporanea di impresa con la cooperativa "Tasso" gestisce pure, con autobus elettrici, il servizio di trasporto turistico nella cittadina di Sorrento.

La svolta del 2001 diede al corso aziendale un' accelerazione verso la mobilità sostenibile, infatti nel maggio del 2003 nell'ambito del congresso mondiale *Mobility & city transport exhibition* organizzato dall' *International union of pubblic transport* (UITP) la CTP sottoscrisse la *Carta della mobilità sostenibile* in base al quale l'azienda ha assunto impegni per la prevenzione dell' inquinamento e per il miglioramento dei processi in termini di rapporto costi-benefici. Ed infatti in linea con gli impegni assunti nel 2003 acquistò 50 autobus a metano e successivamente 13 filobus di tipo bimodale con propulsore elettrico e a gasolio. Sempre nel 2003 ottiene nell'ambito del programma Solare termico del Ministero dell' Ambiente, un finanziamento per la realizzazione di impianti solari per la generazione di energia elettrica destinata alla produzione di acqua calda sanitaria, ed è successivamente ammessa al programma *10000 tetti fotovoltaici* che consente di realizzare

impianti a pannelli solari per la produzione di energia elettrica al servizio di una ricarica per autobus ibridi metano/elettrici. L'attenzione per l'etica del lavoro, la salute, la sicurezza dei lavoratori e per il rispetto dell'ambiente permette alla CTP {4} di conquistare numerosi riconoscimenti. Infatti nel 2001 ottiene la certificazione ISO 9001 per la qualità dei servizi offerti e nel 2003 la SA 8000 per la responsabilità sociale, avvia la pratica per la certificazione ambientale e per quella relativa alla salute e sicurezza dei lavoratori. Nel 2005, grazie alla capacità di integrare fattori come la qualità, ambiente e responsabilità di impresa, vince il Premio Qualità Confservizi [14]. Nel **2003**, per adeguarsi alle normative che regolano il settore del TPL e rispondere efficacemente alle esigenze imposte dal mercato, l'Azienda ha avviato una profonda ristrutturazione interna passando da un assetto organizzativo gerarchico centralizzato ad un nuovo assetto per divisioni più dinamico e flessibile.

Nel **2006** CTP celebra il suo 125° anno di attività nel Trasporto Pubblico locale (con realizzazione di film, libro e mostra e altre iniziative) mentre nel **2007** opera una riorganizzazione rivalutando il Patrimonio Immobiliare con la dismissione del deposito di Giugliano già iniziato con la progettazione della nuova Sede Direzionale presso il deposito di Arzano.

Dall' **8 agosto 2008** diviene S.P.A. a socio unico con proprietà esclusiva della Provincia di Napoli su delibera dell'assemblea ordinaria.

### 1.4.2 Governance e organizzazione

Gli organi sociali Ctp sono [12],[14] : l' Assemblea, il consiglio di Amministrazione e il Collegio Sindacale. Nella figura seguente si riporta uno schema dell'organizzazione CTP :

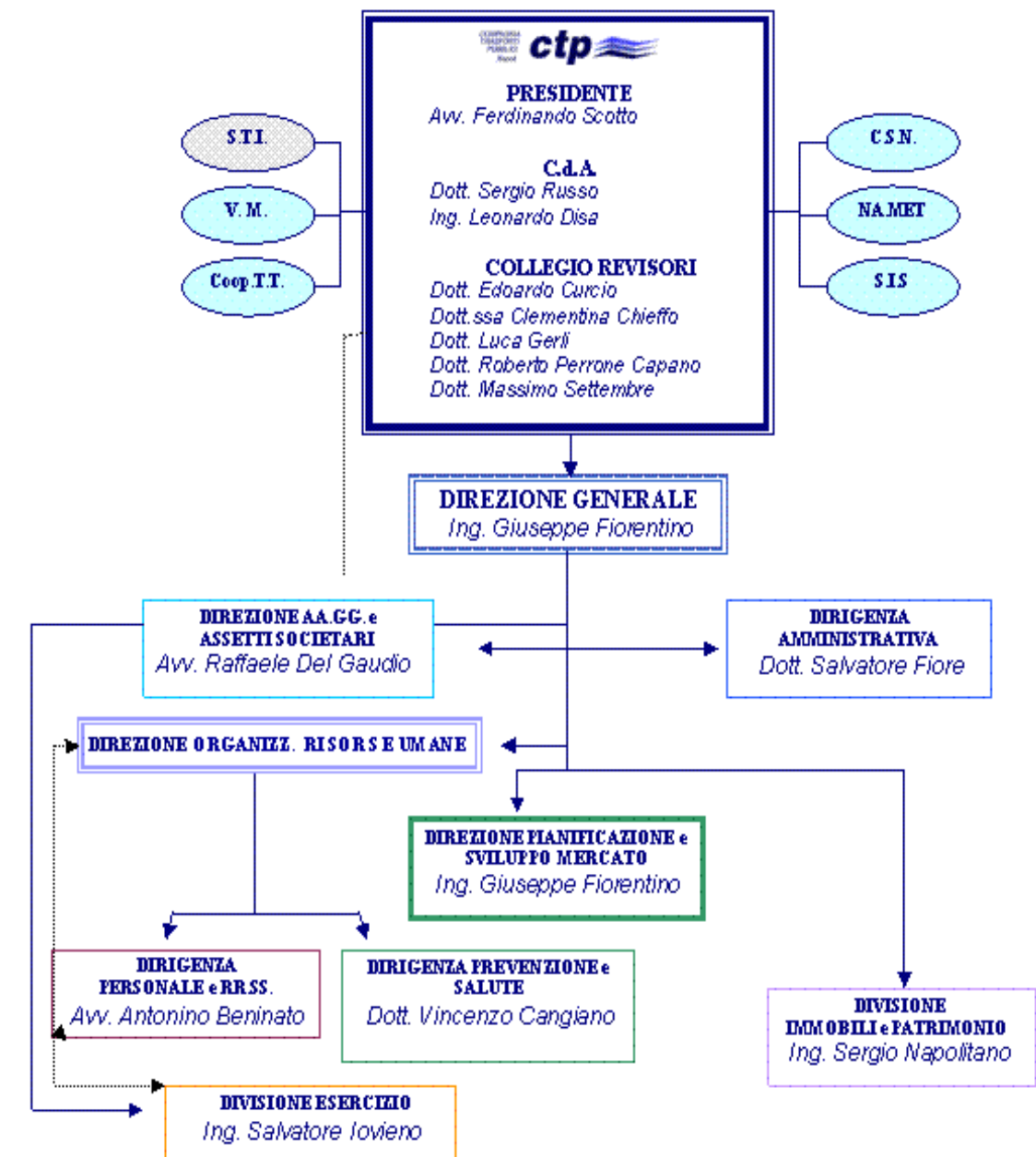



**Figura 9 :** ***L'organizzazione di CTP***

La *Direzione Generale* ha la missione di governare le attività dell'azienda e delle società controllate e partecipate attuando le indicazioni del Consiglio di Amministrazione per conseguire nel lungo periodo gli obiettivi strategici previsti e nel breve il controllo della produzione quantitativa e qualitativa dei servizi previsti come richiesto dai Contratti di Servizio e le performance previste dai documenti

programmatici; la *Direzione Affari Generali e Assetti Societari* ha il compito prevalentemente di gestire le diverse vertenze e dei rapporti con gli Enti Istituzionali, contrattualistica e normative; la *Dirigenza Amministrativa* gestisce l'amministrazione dell'azienda e la redazione dei bilanci e ricerca i finanziamenti; la *Direzione Organizzazione e Risorse Umane* gestisce le risorse umane, le vertenze di lavoro e si interfaccia con le rappresentanze sindacali; la *Direzione Pianificazione e Sviluppo Mercato* valuta le offerte del mercato, gestisce il marketing aziendale e collabora alle politiche generali dell'azienda; la *Dirigenza Prevenzione e Salute* gestisce le procedure relative alla Sicurezza e all' Ambiente; infine completano lo schema la *Divisione Immobili e Patrimonio* che si occupa della gestione del patrimonio e realizzazione di nuove opere e della gestione della rete informatica e la *Divisione di Esercizio* che si occupa della erogazione del servizio di trasporto e di gestire e mantenere la rete e gli impianti filoviari.

### 1.4.3 I depositi e le rimesse

Il servizio di trasporto pubblico erogato da CTP è organizzato dislocando l'attività in 3 depositi :

1) **Arzano** : situato in corso D'amato 51 nell'area ASI C.A.F (Casoria, Arzano, Frattamaggiore), ha una superficie complessiva di 34605 mq di cui 11696 coperti le cui attività principali svolte sono :

- ✓ Rimessaggio autobus a gasolio e a metano
- ✓ Manutenzione ordinaria e straordinaria autobus aziendali
- ✓ Erogazione gasolio e metano per trazione
- ✓ Collaudo in sede di autobus della motorizzazione
- ✓ Lavaggio autobus

ed include inoltre l'Officina Grandi Manutenzioni e il Magazzino Centrale Ricambi con un rimessaggio medio di 120-130 autobus.

2) **Teverola** : sito nell' ASI di Teverola, ha una superficie complessiva di 45.000 mq di cui 8.100 mq coperti, in esso sono confluite le linee, il personale ed i mezzi precedentemente in forza ai depositi di Aversa e Capua, oggi dismessi. Nell' impianto si svolgono operazioni di rimessaggio e di manutenzione ordinaria degli autobus e dei filobus ed è presente un impianto fotovoltaico.

3) **Pozzuoli** : è in realtà una rimessa per autobus, alimentata quasi esclusivamente da un impianto a pannelli fotovoltaici, ha una superficie complessiva di 6154 mq di cui 1350 coperti e ospita in media 30 autobus, di cui 21 destinati al servizio urbano della città di Pozzuoli. Vi si svolgono operazioni di rimessaggio e piccola manutenzione, oltre ad attività di erogazione gasolio e lavaggio.

### 1.4.4 I numeri della CTP

**Tabella 4 :** ***La CTP in cifre***

| | |
|---|---|
| Vetture | 455 autobus (272 videosorvegliati) |
| | 13 filobus |
| Autolinee | 131 (2 filoviarie) |
| Sedi e depositi | 4 |
| Comuni serviti | 72 (45 della provincia di Napoli |
| | 27 della provincia di Caserta ) |
| Sviluppo rete | 2300 km |
| Area servita | 850 kmq |
| Bacino d'utenza | 1.300.000 abitanti |
| Passeggeri/anno trasportati | 33.000.000 (2008) |
| km effettuati | 17.734.000 (2008) |
| Uscita massima giornaliera autobus | 270 |
| Dipendenti | 1440 |

### 1.4.5 Classificazioni della flotta CTP

La flotta della CTP è distribuita su tre tipologie di servizio erogato come di seguito riportato:

**Tabella 5 :** ***Tipologia di servizio erogato***

| Servizio | Quantità |
|---|---|
| Urbano | 50 |
| Suburbano | 285 |
| Interurbano | 120 |

o secondo la classificazione più recente :

**Tabella 6 :** ***Parco veicoli***

| Tipologia | Quantità |
|---|---|
| Classe A | 10 |
| Classe I | 325 |
| Classe II | 108 |
| Classe III | 12 |

Nel corso degli ultimi anni, la CTP ha effettuato un notevole investimento per il rinnovo del parco mezzi al fine di assicurare l' utilizzo delle tecnologie più avanzate e meno inquinanti nel pieno rispetto dell' ambiente e di fornire alla clientela un comfort sempre maggiore favorendo l' accesso al servizio anche alle persone con difficoltà motorie come si evince dalle successive tabelle: :

**Tabella 7 :** ***Tipologia di alimentazione***

| Alimentazione | Quantità |
|---|---|
| Ibridi | 17 |
| Metano | 129 |
| Gasolio | 296 |
| Bimodali | 13 |

**Tabella 8 :** ***Tecnologia a bordo***

| Tipologia di autobus | Quantità |
|---|---|
| Bus con rampa per disabili | 318 |
| Bus con pianale ribassato | 382 |
| Bus con telecamera a circuito chiuso | 272 |
| Bus con pannelli informativi interni | 276 |
| Bus con indicatori di percorso esterni | 424 |

La tipologie di vetture costituenti la flotta CTP e il tipo di alimentazione di ciascun modello sono di seguito riportati:

**Tabella 9 :** ***La flotta della CTP***

| Definizione | N° Vetture | Alimentazione |
|---|---|---|
| BMB 231 CS CNG | 45 | metano |
| BMB 240 Avancity NS CNG | 26 | metano |
| EPT Horus | 4 | Ibrido metano-elettrico |
| IRISBUS 491 CNG | 50 | metano |
| IRISBUS Happy CNG | 8 | metano |
| BMB M240 | 33 | gasolio |
| BMB 231 Vivacity CS E4 | 12 | gasolio |
| CAM Busotto NL | 28 | gasolio |
| DE SIMON IL3 311L | 2 | gasolio |
| FIAT 370.12.25 SL | 14 | gasolio |
| FIAT 380.12.35 Euroclass | 26 | gasolio |
| FIAT 480.10.21 | 13 | gasolio |
| FIAT 590 E 10.22 | 6 | gasolio |
| IRISBUS Cityclass 491 | 9 | gasolio |
| IRISBUS Cityclass 591 | 48 | gasolio |
| IRISBUS Europolis | 14 | gasolio |
| MAN LION'S City | 27 | gasolio |
| MARCOPOLO Viaggio II | 4 | gasolio |
| MERCEDES Citaro O 530LU | 10 | gasolio |
| MERCEDES Citaro O 530NU | 29 | gasolio |

| | | |
|---|---|---|
| MERCEDES Cito 520 | 13 | Ibrido gasolio - elettrico |
| MERCEDES Sprinter | 10 | gasolio |
| ZEV New Alè | 10 | gasolio |
| ANSALDOBREDA F19 H | 3 | filobus bimodale |
| GANZ SOLARIS Trollino 12 | 10 | filobus bimodale |

**Tabella 10 :** ***Autobus e norme***

| Norme | N° Vetture |
|---|---|
| Euro 0 | 22 |
| Euro 1 | 5 |
| Euro 2 | 102 |
| Euro 3 | 81 |
| Euro 4 | 89 |
| Euro 5 | 9 |
| Euro EEV | 147 |

### 1.4.6 La Mission di CTP

La Mission che si è posta la compagnia, che esprime il suo scopo ultimo e la giustificazione stessa della sua esistenza, è di assicurare il proprio sviluppo e quello del territorio su cui opera, fornendo servizi :

- ✓ efficienti, affidabili, che soddisfino le esigenze degli utenti per meglio agire da protagonista nel nuovo mercato liberalizzato;
- ✓ conformi allo sviluppo sostenibile, a basso impatto ambientale e che contribuiscano a migliorare le condizioni di lavoro;
- ✓ che le consentano un riconoscimento di eccellenza tra le aziende di trasporto pubblico locale in ambito anche nazionale.

### 1.4.7 Il sistema di gestione integrato e le certificazioni

In tale contesto si inseriscono le scelte strategiche ed i progetti rivolti sia a migliorare il servizio offerto, a renderlo più competitivo per qualità

sicurezza e comfort rispetto al trasporto privato sia ad adeguare le proprie attività in rapporto all'ambiente e al contesto sociale in cui opera. La CTP con la pubblicazione, nel rispetto dei principi essenziali definiti dalla Costituzione, anche nel 2009 della Carta di Mobilità, riconferma i suoi impegni erogando il pubblico servizio di trasporto sul principio dell'eguaglianza e imparzialità nei confronti dei clienti, senza discriminazioni di razza, religione, lingua e rendendo fruibile il servizio anche ai diversamente abili. Al fine di migliorare il servizio offerto ha adeguato la propria organizzazione agli standard previsti dalle norme internazionali :

- ✓ **ISO 9001 : 2000** che ha come obiettivo il miglioramento continuo e la soddisfazione del cliente;
- ✓ **SA 8000** che individua gli aspetti legati alla tutela del lavoratore, il controllo della catena di fornitura del servizio prestato ed il miglioramento delle prestazioni sociali dell'organizzazione;
- ✓ **ISO 14001 : 2004** che permette di gestire gli aspetti ambientali inerenti i processi aziendali, razionalizzando l'utilizzo delle materie prime, la produzione di rifiuti ed emissioni, diminuendo i consumi energetici.

Le azioni e le iniziative, non senza notevoli sforzi sia in termini economici che di management e dipendenti le hanno consentito di ottenere dall' ente certificatore **TÜV** e seguenti certificazioni:

- ✓ Sistema Qualità (2001) : ancora oggi mantenuta
- ✓ Sistema Responsabilità Sociale (2003)
- ✓ Sistema Ambiente (2005)

Il Sistema di Gestione Integrata qualità-ambiente-sicurezza-etica è un efficace strumento per l'azienda per migliorare la competitività e l'immagine della stessa che le ha consentito di aggiudicarsi nel 2005 il **Premio Qualità Confservizi**, da parte della Confederazione nazionale

delle aziende dei servizi pubblici, ottenuto per la capacità di aver migliorato le proprie prestazioni in termini di risultati economici, efficienza, riduzione dell'impatto ambientale, miglioramento delle condizioni di salute e sicurezza dei lavoratori e della responsabilità sociale sia all'interno dell'azienda che da parte dei fornitori e nel 2006 il **Premio Etica&Impresa** categoria territorio, con il progetto Contact per il miglior accordo di responsabilità sociale d' impresa sottoscritto con le organizzazioni sindacali. Dall''anno 2006 CTP è membro del **Pool Qualità Trasporti**, un gruppo di lavoro costituito da aziende europee che operano nel settore del trasporto pubblico, per l''approfondimento ed il confronto sui temi della Qualità. A giugno del 2008 ha ottenuto il certificato **CEEP-RSI**, in seguito all'analisi dei risultati raggiunti nelle attività del "Progetto Discerno", co-finanziato dalla Commissione Europea per promuovere e studiare le implicazioni della responsabilità sociale nelle imprese, pubbliche o miste, di servizi (*Corporate Social Responsibility*).

### 1.4.8 La Sicurezza in Ctp

#### *1.4.8.1 Dei lavoratori*

In linea con i requisiti di legge l'azienda dispone del documento di valutazione dei rischi aggiornato annualmente o in occasione di variazioni organizzative o delle lavorazioni. Le procedura aziendali prevedono un approccio sistemico alle problematiche della sicurezza e un'analisi sistemica dei dati relativi all'andamento degli incidenti. Tutto il personale riceve oltre ai dispositivi necessari allo svolgimento del proprio lavoro, anche la formazione per acquisire la conoscenza dei comportamenti da osservare e le procedure da rispettare nelle varie situazioni lavorative e anche i fornitori che operano presso le sedi

aziendali ricevono adeguato aggiornamento sulle problematiche di emergenza e antincendio.

#### *1.4.8.2 Dei viaggiatori*

La sicurezza del viaggio è assicurata dalla professionalità del personale di guida, dall'istallazione di apparecchiatura telefonica veicolare a bordo dei bus con possibilità di collegamento con le autorità ed inoltre al fine di aumentare la sicurezza a bordo dei propri mezzi la CTP ha provveduto ad installare sui propri mezzi telecamere a circuito chiuso per la registrazione di immagini sulle linee a maggior tasso di criminalità, a tutela della sicurezza dei passeggeri e del personale viaggiante, cosicché in caso di reati le registrazioni vengono inviati alle autorità preposte.

#### *1.4.8.3 Dei veicoli*

La sicurezza dei mezzi, che rappresenta una componente estremamente importante della sicurezza dei passeggeri, viene assicurata sia attraverso l'impiego di autobus adatti alle moderne esigenze di trasporto sia da interventi manutentivi programmati (pianificati con il supporto di SAP secondo le indicazioni delle case costruttrici) e l' applicazione di una procedura che prevede il blocco degli autobus in officina nel caso di guasti che possano pregiudicare la loro sicurezza; inoltre i dati relativi ai guasti vengono monitorati sistematicamente al fine di sviluppare le azioni preventive più utili a ridurne la frequenza.

### 1.4.9 Il rapporto con i clienti

La politica e le azioni dell' azienda mirano ad un miglioramento costante della qualità dei servizi erogati, attraverso una puntuale ricerca di nuove soluzioni organizzative e tecnologiche al fine di assicurare un servizio sicuro ed affidabile. L'autobus è in realtà un prodotto che deve essere a misura del Cliente i cui requisiti devono trovare un giusto punto di

incontro con la capacità delle aziende, pena l'insoddisfazione dei primi o l'insuccesso delle seconde. La qualità del servizio, inoltre, rappresenta un elemento in continua e sistematica evoluzione e risente delle mutazioni del quadro socio economico, che impone la programmazione, a livello strategico, di aggiornamenti incrementali. La variabile più importante da analizzare è capire cosa il cliente vuole in più nel futuro, quali sono le esigenze e le caratteristiche relative al servizio di TPL che potrebbero ancora non essere riscontrabili nelle indagini e nella realtà. Pertanto l' azienda per orientarsi sempre più al cliente cercando di attenuare maggiormente lo scostamento tra la qualità percepita e quella attesa, per ottenere indicazioni utili a migliorare la qualità del servizio offerto e anche per confrontarsi con altre aziende, effettua regolarmente dei questionari, alle fermate o direttamente sugli autobus, per rilevare il grado di soddisfazione dei clienti (Customer Satisfaction Index). Dai risultati dei monitoraggi è emerso che gli aspetti percepiti come livello superiore qualitativo cui l'azienda dovrebbe prestare maggiore attenzione sono sia l'affollamento, la pulizia delle vetture, la facilità di acquisto dei biglietti, ma soprattutto la sicurezza sia in termini di aggressione alle fermate o a bordo che la sicurezza dagli incidenti. In particolare l'accadimento di eventi incidentali, riconducibili a mancanze legate alla prevenzione incendi, costituisce servizio di interesse pubblico per il conseguimento di obiettivi di sicurezza della vita umana e di tutela dei beni materiali e dell'ambiente. Risulta, quindi, indispensabile promuovere, predisporre e sperimentare delle misure, dei provvedimenti e modi di azione intesi ad evitare l'insorgere di un incendio e/o limitarne le conseguenze. Per cui con questo lavoro si vuole definire e valutare il grado di criticità del fenomeno incidentale con la successiva individuazione delle possibili prospettive di soluzione al problema in ottica sia di prevenzione che di protezione.

# Capitolo 2
# Chimica fisica dell' incendio

## 2.1 L' INCENDIO

L'**incendio** può definirsi [15],[16], secondo una definizione corrente, come una rapida ossidazione di materiali combustibili, caratterizzata da un notevole sviluppo di calore, emissione di luce, fiamme, di fumi e gas caldi, che avviene in un luogo non predisposto a contenerla e che una volta insorta, qualora sfugga al controllo dell'uomo, tende a propagarsi in maniera incontrollata e devastante con conseguenti danni. Si tratta in effetti di una combustione accidentale in atmosfera di ossigeno nel corso della quale si ha una degradazione di energia chimica in termica, dove con il termine **combustione** normalmente si intende una reazione chimica esotermica, che avviene cioè con sviluppo di calore, sufficientemente rapida, di una sostanza combustibile, che si ossida e quindi perde elettroni, con l'ossigeno (sostanza ossidante che si riduce e quindi acquista elettroni), contenuto nell'aria generalmente, accompagnata da sviluppo di calore (perché i reagenti possiedono più energia dei prodotti di reazione) e produzione di radiazione luminosa (in effetti il calore generato innalza a sua volta la temperatura dei componenti della reazione portandola a valori tali per cui essi irradiano energia elettromagnetica con lunghezze d'onda comprese nel campo del visibile cosicché la zona di reazione appare allora luminosa e si parla di *fiamme*). In realtà [17], sono da considerarsi combustioni pure le reazioni che avvengono :

- ✓ in presenza di ossigeno dell'aria ma senza la produzione di radiazioni luminose (respirazione animali);
- ✓ in assenza di ossigeno dell'aria ma con la produzione di calore e a volte radiazioni di luminose (respirazione delle piante);
- ✓ in assenza di aria ma con presenza di molecole contenenti ossigeno sufficiente per bruciare (polvere da sparo, esplosivi , celluloide);
- ✓ nelle sostanze spontaneamente infiammabili (fosforo giallo, idrogeno, fosforato e alcuni composti metallici);
- ✓ in presenza di agenti diversi dall'ossigeno (come ad esempio l'idrogeno e altri metalli che bruciano in atmosfera di cloro).

Le combustioni possono essere distinte fondamentalmente in :

- ✓ combustione omogenea (che avviene tra un combustibile gassoso e comburente anch' esso gassoso);
- ✓ combustione eterogenea (tra combustibile solido o liquido e comburente gassoso);
- ✓ combustione degli esplosivi (combustione di sostanze contenenti nella loro composizione una sufficiente quantità di ossigeno comburente necessario alla combustione che avviene quindi senza apporto dall'esterno e quindi anche in assenza di aria, con notevole velocità di propagazione della fiamma e innalzamento della pressione).

Condizione necessaria affinché la combustione possa determinarsi è la commistione di tre grandezze fisiche : combustibile, comburente e energia di attivazione (sorgente di calore), pertanto solo la contemporanea presenza di questi tre elementi da luogo al fenomeno dell'incendio e di conseguenza al mancare di uno di essi l' incendio si spegne. Per cui la combustione può rappresentarsi schematicamente da un triangolo detto comunemente **triangolo del fuoco** [18] i cui lati sono i tre elementi necessari al suo sviluppo.

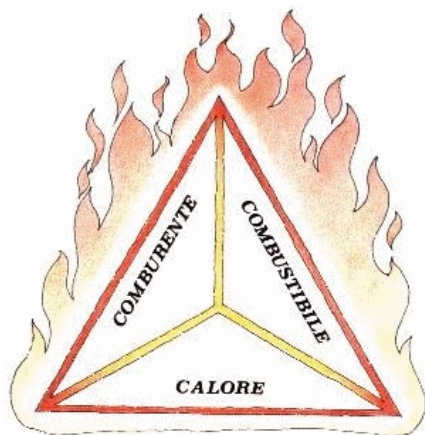



**Figura 10 :** ***Il triangolo del fuoco***

Il **combustibile** [19] è una sostanza che può essere allo stato solido, liquido o gassoso in grado di bruciare in condizioni ambientali normali (convenzionalmente fissate a 20 °C e a pressione di 760 mm Hg). A rigore andrebbero considerate combustibili tutte le sostanze non rientranti nella categoria delle sostanze *non combustibili* vale a dire quelle sostanze che non bruciano e non emettono vapori infiammabili in quantità sufficiente all'autocombustione se portate a una temperatura di 750°C. E' da notare che la maggior parte delle combustioni avviene in fase gassosa, infatti mentre le sostanze gassose non hanno ovviamente necessità di trasformazione, per i liquidi si ha prima una evaporazione delle molecole del combustibile che passano in fase gassosa per effetto della temperatura e successivamente avviene la combustione del gas, per i solidi invece si ha prima una sublimazione cioè un passaggio dalla fase solida a quella di vapore di alcune sostanze che bruciano subito se in quantità sufficienti a sostenere la combustione, dopodiché si ha la combustione del carbonio. Il **comburente** [20] è la sostanza ossidante che consente e favorisce la combustione, il più importante è l'ossigeno sia puro che contenuto nell'aria o in composti, ma vi sono altri comburenti come il protossido di azoto $N_2O$, l'ossido di azoto NO e il biossido di azoto $N_2O$. Il terzo elemento è costituito da una **fonte di calore** ad alta temperatura, infatti

non è sufficiente che il combustibile e comburente siano in intimo contatto perché la reazione avvenga, ma occorre che almeno in una sua parte la temperatura sia sufficientemente elevata da provocare l’accensione facendo si che l’energia del sistema sia tale da superare l’energia di attivazione della reazione di combustione. Una volta acceso, il materiale continua a bruciare perché è il calore prodotto a riscaldare fino alla temperatura di accensione il materiale non ancora bruciato, determinando l’innesco di altre reazioni e in questo modo la combustione continua e si propaga finché trova combustibile ed aria sufficienti ad alimentarla e sostentarla. In realtà il triangolo visto è solo una parte di uno schema più complesso come evidenziato nella figura successiva in cui il triangolo precedente è quello superiore [21] (detto anche **di Kinsley o del "fuoco"**) che rappresenta l'inizio della combustione e cioè la reazione di ossidazione del combustibile catalizzata da una energia di innesco (scintilla, surriscaldamento, ecc).

**Figura 11 :** ***I triangoli del fuoco***

Per avvenire una propagazione dell'incendio occorre che non solo esista altro combustibile o comburente, ma anche che il fuoco abbia la capacità di auto mantenersi (triangolo inferiore). Quindi per correttezza è meglio parlare di **"croce del fuoco"** quando si parla di combustione già in atto. Recentemente nelle teorie antincendio si è introdotto un quarto elemento per meglio comprendere la natura degli incendi costituito dalla **reazione**

**a catena** per cui si parla di **tetraedro del fuoco**. In effetti, la combustione può definirsi [22] una reazione a catena cioè una reazione nella quale le molecole iniziali (combustibile e comburente) si trasformano nel prodotto finale attraverso stadi intermedi, collegati insieme come le maglie di una catena. Quando la sorgente di calore fornisce energia alla sostanza combustibile questa si decompone in radicali liberi (atomi instabili), particelle estremamente reattive che iniziano la catena quando, colpendo molecole di ossigeno o combustibile, emettono altri radicali come prodotto intermedio dando luogo alla propagazione della combustione, ma se catturati da determinati radicali si bloccano e spezzano la catena interrompendola.

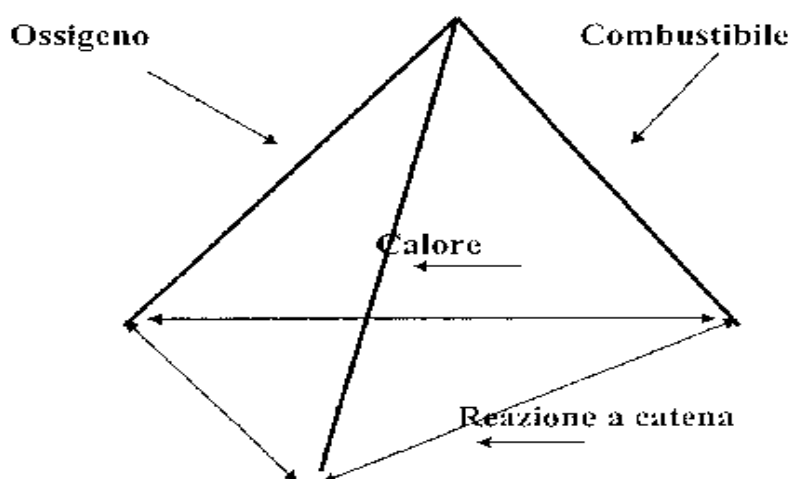



**Figura 12 :** ***Il tetraedro del fuoco***

### 2.1.1 Le fonti di innesco

Le fonti di innesco, ossia dell' elemento che avvia la reazione di combustione una volta a contatto con la miscela infiammabile, possono suddividersi in quattro categorie [23] :

- ✓ **accensione diretta :** quando una fiamma, una scintilla o altro materiale incandescente entra in contatto con un materiale combustibile in presenza di ossigeno (operazioni di taglio e saldatura, fiammiferi e mozziconi di sigaretta, lampade e resistenze elettriche, scariche statiche, cause elettriche);
- ✓ **accensione indiretta :** quando il calore d' innesco viene fornito per convezione, conduzione e irraggiamento termico (correnti di aria calda generate da un incendio e diffuse attraverso vani o collegamenti di vario tipo, propagazione di calore attraverso elementi metallici);
- ✓ **attrito** quando il calore è prodotto dallo sfregamento di due materiali (malfunzionamento di parti meccaniche rotanti quali cuscinetti o motori, urti, rottura violenta di materiali metallici);
- ✓ **autocombustione o riscaldamento spontaneo :** quando il calore occorrente all'innesco viene prodotto dallo stesso combustibile, senza alcun apporto di energia dall'esterno, per effetto di processi caratterizzati da produzione di calore come reazioni di ossidazione, decomposizioni esotermiche in assenza d'aria, azione biologica, a seguito dei quali la temperatura della sostanza può crescere fino a raggiungere dei valori tali da provocare un vero e proprio incendio (cumuli di carbone, stracci o segatura imbevuti d'olio di lino, polveri di ferro o nichel, fermentazione di vegetali).

### 2.1.2 La classificazione degli incendi

Le diverse tipologie di incendio possono essere classificate, ed infatti la Norma Europea EN2 emanata dal Comitato Europeo per la Normalizzazione (CEN) e recepita in Italia con il D.M. 20 /12 /1982 ha suddiviso e classificato i fuochi in base ai materiali combustibili che li

generano; tale classificazione è molto utile perché permette una indicazione efficace e sintetica delle tipologie di incendio, ed anche perché consente di scegliere facilmente le sostanze estinguenti idonee nei diversi casi [24].

**Classe A**. Abbraccia tutti i materiali solidi a base cellulosica quali il legno, la carta, i tessuti, la paglia e simili soggetti a due forme tipiche di combustione : una vivace caratterizzata da fiamme un' altra, priva di fiamme visibili, lenta e quasi covante caratterizzata dalla formazione di brace , che può durare per tempi assai lunghi prima di sfociare in un focolare di incendio vero e proprio. Lo spegnimento di questa classi di incendi, che avviene prima con la regressione delle fiamme fino allo spegnimento, cui segue l'annerimento delle braci, estinte le quali si considera terminata la combustione, si può ottenere mediante :

- ✓ acqua a getti piena o nebulizzata;
- ✓ polveri preferibilmente a base di fosfato di ammonio adatte a soffocare le braci;
- ✓ schiume ordinarie o a media espansione;
- ✓ anidride carbonica solo nei locali chiusi saturabili.

**Classe B**. Include liquidi infiammabili o solidi liquefacibili (idrocarburi in genere, catrami, grassi, oli, pitture, vernici, alcoli, pece, resine, e solventi, alcuni includono il caucciù e le materie plastiche che altri assegnano alla classe A). Le sostanze di questa classe sono caratterizzate da combustioni molto vivaci aventi fiamme molto alte poiché bruciano completamente in fase gassosa, dopo l'evaporazione o eventuale pirolisi, senza dar luogo a brace. L'estinzione di questo tipo di incendio si determina una volta estinte le fiamme. Alcuni suddividono ulteriormente questa classa in due sottoclassi per tener conto delle sostanze per il cui spegnimento non sia adatta l'acqua usata a getto pieno, per cui si distingue la sottoclasse **B1** comprendente le sostanze liquide più pesanti,

l'olio combustibile e il gasolio, dalla sottoclasse **B2** comprendente i liquidi e sostanze più leggeri. Lo spegnimento di questa classe di incendi si può ottenere mediante:

- ✓ schiuma ordinaria e a media espansione;
- ✓ polveri chimiche a base di bicarbonato di sodio o di ammonio, compatibili con le schiume;
- ✓ composti alogenati che spengono istantaneamente senza residuo;
- ✓ anidride carbonica che spegne bene al chiuso e con molta difficoltà all'aperto.

**Classe C**. Incendi di gas infiammabili (metano, propano, butano, acetilene, gas naturale, gas di città, idrogeno ecc.). Lo spegnimento avviene mediante:

- ✓ polveri a base di bicarbonato di sodio o fosfato di ammonio compatibili con le schiume;
- ✓ composti alogenati che spengono istantaneamente;
- ✓ anidride carbonica che spegne bene nei locali chiusi;

Non vanno usate schiume e acqua, mentre l'acqua nebulizzata può essere usata solo per il raffreddamento dopo però aver eliminato possibili ulteriori rilasci di gas e vapori infiammabili che altrimenti formerebbero eventuali miscele esplosive.

**Classe D**. Comprende incendi di metalli combustibili (sodio, potassio), di sostanze chimiche spontaneamente combustibili in presenza di aria, di sostanze chimiche reattive in presenza di acqua o schiuma (magnesio, titanio, zirconio e loro leghe). Lo spegnimento non è semplice dipendendo dalla sostanza da estinguere, si possono usare ad esempio:

- ✓ polveri a base di cloruro di sodio;
- ✓ in alcuni casi si può usare olio combustibile che poi si spegne mediante schiume.

| Classi | Natura del fuoco | Materiali attribuiti |
|---|---|---|
| A | Fuochi di materie solide, generalmente di natura organica, la cui combustione avviene con produzione di braci. | Carta, Legna, Segatura, Trucioli, Stoffa, Rifiuti, Cere, Cartoni, Libri, Pece, Carboni, Paglia, Torba, Bitumi grassi, Carbonella, Fuliggine, Celluloide, Vernice alla nitro, Stracci unti, Materie plastiche, Pellicole, Tutto quanto forma brace, Solidi |
| B | Fuochi di liquidi o di solidi che si possono liquefare a temperature relativamente basse. | Nafta, Benzina, Petrolio, Alcool, Olii pesanti, Etere, Glicerina, Vernici, Gomme, Resine, Fenoli, Zolfo, Trementina, Liquidi infiammabili, Solidi che si possono liquefare |
| C | Fuochi gas | Metano, Cloro, Gas illuminante, Acetilene, Propano, Idrogeno, Cloruro di metile, Gas infiammabile |
| D | Fuochi di metalli | Magnesio, Potassio, Fosforo, Sodio, Carburi, Electron (Al -Mg), Metalli infiammabili |
| E | Fuochi da apparecchiature elettriche<br><br>P.S. (NON CONSIDERATA NELLA NORMATIVA ITALIANA) | |

**Figura 13 :** ***Pittogramma dei fuochi***

**Classe E**. In realtà non è una classe contemplata dalle norme europee EN ma è da molti usata per indicare le apparecchiature e impianti elettrici sotto tensione. Lo spegnimento di questa classe di incendi si può ottenere con:

- ✓ polveri a base di bicarbonato di sodio o di fosfato di sodio;
- ✓ composti alogenati;
- ✓ anidride carbonica che spegna bene nei locali chiusi;
- ✓ acqua nebulizzata esclusivamente da impianti fissi, non usare mai schiume di qualunque tipo.

### 2.1.2 I parametri della combustione

La combustione è caratterizzata da numerosi parametri fisici e chimici, i principali dei quali sono i seguenti [15 a 17], [23], [25 a 29], {5 a 7} :

**Temperatura di accensione :** temperatura alla quale il combustibile, venuto a contatto con un innesco, si accende all'aria e continua a bruciare indipendentemente dalla cessione di calore dall'esterno. Tale temperatura varia col variare : dello stato fisico del combustibile, del rapporto tra combustibile/comburente, del tenore di gas inerte (azoto, $CO_2$, ecc.) presente nel comburente.

**Temperatura di autoaccensione :** temperatura minima alla quale deve essere portata una sostanza combustibile perché si determini l'accensione spontanea senza l'intervento dell'innesco esterno. In genere si assimila anche alla temperatura che deve avere l' innesco perché determini l'accensione di quel combustibile; in altre parole è la temperatura richiesta perché una sostanza venendo a contatto con l'aria possa accendersi da sola e una miscela combustibile-aria possa accendersi da sola per riscaldamento della massa. Tale temperatura è per i combustibili liquidi e gassosi un valore tabellato e ben determinato, per le sostanze solide invece spesso non è esattamente determinabile dipendendo da numerosi fattori quali lo stato di suddivisione del materiale, umidità, ecc. Il fenomeno della accensione (o autoaccensione) non deve essere confuso con il fenomeno della "*autocombustione*", che invece consiste in una combustione spontanea di una sostanza combustibile, senza alcun apporto di energia dall'esterno, a seguito di una reazione di ossidazione inizialmente lenta, con successivo graduale e sensibile accumulo di calore, provocata spesso da fenomeni di fermentazione e di ossidazione; l'autocombustione può verificarsi facilmente, ad esempio, nei seguenti materiali: stracci imbevuti di olio o vernice, fieno, cotone grezzo in balle,

olio, carbone. A titolo esemplificativo si riportano alcuni valori di temperatura di accensione per alcune sostanze combustibili:

**Tabella 11 :** ***Temperatura di accensione di alcune sostanze***

| Sostanza | Temperatura d'accensione °C |
|---|---|
| Alcool etilico | 363 |
| Benzina | 250 |
| Carbone | 610 |
| Carta | 230 |
| Etilene | 490 |
| Gasolio | 220 |
| Gomma sintetica | 300 |
| Gpl | 400 |
| Idrogeno | 560 |
| Legno | 220 ÷ 250 |
| Metano | 537 |

**Temperatura di combustione :** temperatura massima che si può raggiungere nella combustione o anche secondo la teoria cinetica, il massimo incremento di energia cinetica media che possono acquisire le particelle elementari delle sostanze coinvolte nel fenomeno.

**Temperatura teorica di combustione** : è la massima temperatura alla quale possono essere portati i prodotti della combustione dal calore prodotto dalla combustione stessa, nell'ipotesi che tutta l'energia termica liberata vada ad aumentare la temperatura, senza scambio di calore con l'ambiente esterno e senza che vi sia trasformazione di energia termica in energia raggiante. A titolo di esempio riportiamo una tabella con le temperature teoriche massime di combustione confrontate con quelle massime effettive misurate realmente ed ovviamente inferiori alle prime poiché non tutta l'energia che si sviluppa nella combustione va a

riscaldare i gas combusti ma una parte si trasforma in energia raggiante e inoltre sensibili abbassamenti sono anche dovuti a reazioni di dissociazione del vapore d'acqua e dell'anidride carbonica che avvengono con sottrazione di calore :

**Tabella 12 :** ***Temperatura di combustione***

| Sostanza | Temperatura di combustione (°C) | |
|---|---|---|
| | Massima teorica | Massima reale |
| Metano | 2218 | 1880 |
| Etano | 2226 | 1895 |
| Propano | 2232 | 1925 |
| Butano | 2237 | 1895 |

**Temperatura di infiammabilità o punto di infiammabilità** (flash Point) : è la minima temperatura alla quale un liquido infiammabile emette vapori tali che sulla superficie di esso si forma una miscela aria vapore in grado di accendersi in presenza di innesco, al di sotto di tale temperatura pertanto, una sostanza combustibile non può bruciare. Anche per i solidi teoricamente si potrebbe definire una temperatura di infiammabilità da intendersi come la minima temperatura alla quale il solido distillando emette vapori in grado di accendersi, tuttavia non essendo facilmente determinabile, per essi si preferisce parlare soltanto di temperatura di accensione. Questo parametro è discriminante in merito alla pericolosità di un liquido combustibile/ infiammabile ed infatti una sostanza è tanto più pericolosa quanto minore è il suo flash Point, ed in relazione ad esso si suole individuare tre categorie di liquidi infiammabili:

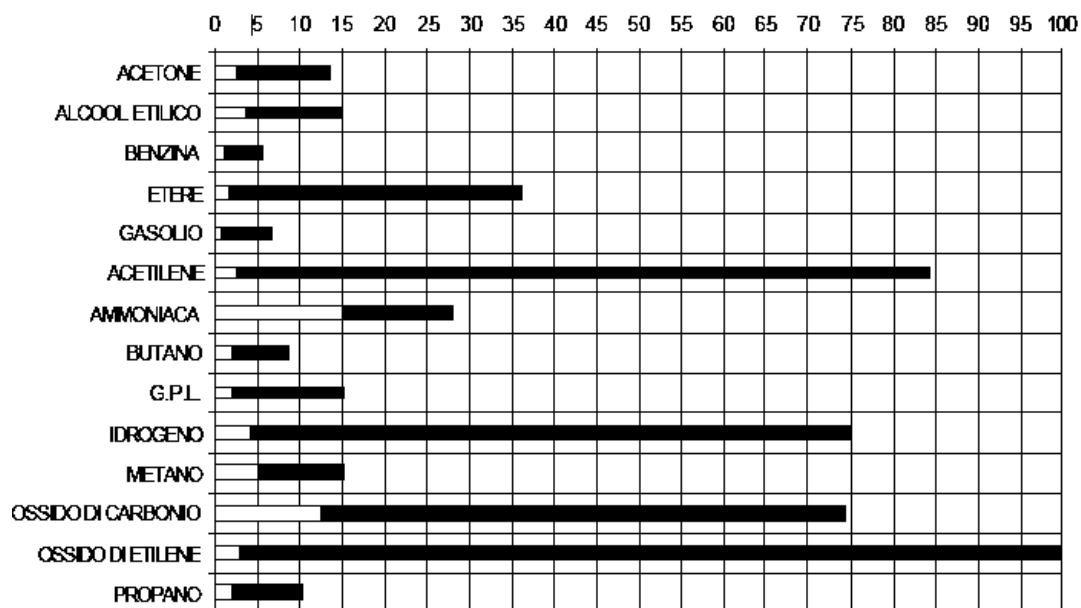
- ✓ **Categoria A :** liquidi con temperatura di infiammabilità inferiore a 21 °C (liquidi infiammabili e sostanze esplosive a temperatura ambiente ad esempio benzina e alcool)

- ✓ **Categoria B :** liquidi con temperatura di infiammabilità compresa tra 21°C e 65 °C (liquidi combustibili e sostanze che possono esplodere solo se riscaldati)
- ✓ **Categoria C :** liquidi con temperatura di infiammabilità superiore a 65 °C (liquidi che possono bruciare come gasolio, olio combustibile e lubrificanti).

**Tabella 13 :** ***Temperature di infiammabilità di alcune sostanze***

| Sostanza | Temperatura di infiammabilità °C |
|---|---|
| Acetone | -18 |
| Alcool etilico | 13 |
| Alcool metilico | 11 |
| Benzina | -20 |
| Gasolio | 65 |
| Kerosene | 37 |
| Olio lubrificante | 149 |
| toluolo | 4 |

**Limiti di infiammabilità (% in volume) :** Tali limiti individuano il campo di infiammabilità all'interno del quale si ha, in caso d'innesco, l'accensione e la propagazione della fiamma nella miscela. Il *limite inferiore di infiammabilità* è la più bassa concentrazione in volume di vapore della miscela al di sotto della quale non si ha accensione in presenza di innesco per carenza di combustibile; il *limite superiore di infiammabilità* è la più alta concentrazione in volume di vapore della miscela al di sopra della quale non si ha accensione in presenza di innesco per eccesso di combustibile [20].

**Figura 14** ***: Limiti di infiammabilità di alcune sostanze***

All'esterno di questo campo di infiammabilità i cui valori sono espressi in volume percentuale (volume di combustibile x 100 / volume della miscela) , la miscela risulta troppo povera o troppo ricca di combustibile rispetto al comburente, per cui la combustione non può avvenire. Se nella miscela è presente un eccesso d'aria (poco combustibile), il calore sviluppato dall'innesco è insufficiente a far salire la temperatura degli strati adiacenti di miscela fino al punto di accensione, per cui la fiamma non può propagarsi e si estingue. Se invece nella miscela è presente un eccesso di combustibile (poca aria), questo funzionerà da diluente, abbassando la quantità di calore disponibile per gli strati adiacenti di miscela, fino ad impedire la propagazione della fiamma. Questi limiti dipendono dalla pressione (pressioni più alte tendono ad allargare il campo di infiammabilità, più basse a restringerlo) e dalla temperatura (l'aumento di temperatura allarga il campo di infiammabilità). Quanto più i valori di miscelazione combustibile - aria sono interni al campo di infiammabilità, tanto più la combustione si sviluppa con violenza e rapidità, assumendo sempre più il carattere di un esplosione che a tutti gli

effetti è un processo di combustione, ma avviene con velocità di propagazione del fronte di fiamma molto superiore alla normale velocità della fiamma di un incendio e con un forte aumento della pressione combustione ed assume la dizione di *deflagrazione* o *detonazione* a seconda che il fronte di fiamma si muova a velocità subsonica o supersonica [30 e 31]. Si riportano alcuni valori dei limiti di infiammabilità per alcune sostanze:

**Tabella 14 : *Limiti di infiammabilità***

| Combustibile | Linite inferiore % | Limite superiore % |
|---|---|---|
| Alcool etilico | 3,3 | 19 |
| Alcool metilico | 5,5, | 26,6 |
| Ammoniaca | 15 | 28 |
| Benzina | 0,9 | 7.5 |
| Butano | 1,5 | 8,5 |
| Gas naturale | 3 | 15 |
| Gasolio | 1 | 6 |
| GPL | 2 | 9 |
| Idrogeno | 4 | 75,6 |
| Metano | 5 | 15 |
| Propano | 2,1 | 9,5 |

**Limiti di esplodibilità (% in volume) :** posizionati all'interno del campo di infiammabilità, rappresentano la più bassa concentrazione in volume di vapore della miscela al di sotto della quale non si ha esplosione in presenza di innesco (limite inferiore di esplodibilità) e la più alta concentrazione in volume di vapore della miscela al di sopra della quale non si ha esplosione in presenza di innesco (limite superiore di esplodibilità).

A seguito di quanto descritto, si può pertanto affermare che una combustione può avvenire se, e solo se, sussistono *tutte e contemporaneamente* le seguenti condizioni minime {8} :

1) Presenza contemporanea del combustibile e dell'ossigeno *(aria)*;

2) Miscela aria-combustibile infiammabile, e cioè con valori di miscelazione interni al campo di infiammabilità;
3) Temperatura del combustibile superiore alla temperatura di infiammabilità;
4) Presenza di un innesco di combustione *(fiamma o scintilla)* oppure (in sostituzione della condizione 4) temperatura del combustibile superiore alla temperatura di accensione, anche in assenza di inneschi.

II fuoco (e quindi un incendio) potrà dunque generarsi e permanere unicamente se sussistono *insieme e contemporaneamente* le condizioni descritte. Quando anche solo una di tali condizioni viene a mancare, il fuoco si spegne oppure non si genera, e su questo fondamentale ed importantissimo principio sono basate tutte le tecniche di estinzione degli incendi.

**Aria teorica di combustione :** è la quantità di aria necessaria per bruciare completamente un kg o un $m^3$ di combustibile; la quantità di aria strettamente necessaria alla combustione dipende dalla composizione chimica del combustibile e risulta tanto maggiore quanto più è elevato il potere calorifico del combustibile.

**Tabella 15 :** ***Aria teorica di combustione***

| Sostanza | Aria teorica di combustione $Nm^3/kg$ |
|---|---|
| Alcool etilico | 7,5 |
| Benzina | 12 |
| Carbone | 8 |
| Gasolio | 11,8 |
| Idrogeno | 28,5 |
| Legno | 5 |
| Olio combustibile | 11,2 |
| Polietilene | 12,2 |
| Propano | 13 |

**Potere calorifico :** indica la quantità di calore ( MJ/kg o kcal/kg) prodotta dalla combustione completa dell'unità di massa o di volume di una determinata sostanza combustibile e si distingue in : **superiore** che esprime la quantità di calore sviluppata dalla combustione considerando anche il calore di condensazione del vapore d'acqua prodotto e **inferiore** quando il calore di condensazione del vapor d'acqua non è considerato (pari al PCS meno il calore di evaporazione o di condensazione del vapore d'acqua che si forma durante la combustione); per i combustibili che non contengono idrogeno né acqua al loro interno, non risultano differenze tra potere calorifico inferiore e superiore; in genere nella prevenzione incendi viene considerato sempre il potere calorifico inferiore [32 e 33].

**Tabella 16 :** ***Poteri calorifici dei principali combustibili***

| Combustibile | Potere calorifico inferiore | | | Potere calorifico superiore | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | MJ/kg | MJ/Nm$^3$ | MJ/dm$^3$ | MJ/kg | MJ/Nm$^3$ | MJ/dm$^3$ |
| Benzina | - | - | 31,4 | - | - | 33,8 |
| Coke | 29,0 | - | - | 30,0 | - | - |
| Gas naturale | - | 34,5 | - | - | 38,5 | - |
| Gasolio | - | - | 35,5 | - | - | 37,9 |
| G.P.L. | 46,0 | - | 25,0 | 50,0 | - | 27,2 |
| Legna secca | 16,7 | - | - | 18,4 | - | - |
| Olio combustibile | 41,0 | - | - | 43,8 | - | - |

## 2.2 COMBUSTIBILI E MODALITÀ DI COMBUSTIONE

Si definiscono [22],[34] **combustibili** le sostanze in grado di reagire con l'ossigeno (o con un altro comburente) dando luogo ad una reazione di combustione. I componenti principali dei combustibili più usati sono il

carbonio (C) e l'idrogeno (H), definiti elementi utili in quanto conferiscono al combustibile due principali requisiti: sviluppare calore in notevole quantità e dare una combustione completa con la minima produzione di sostanze inquinanti. I vari tipi di combustibili possono essere classificati in base allo *stato fisico* (a temperatura e pressione ambiente) differenziandosi in combustibili liquidi, gassosi e solidi. Un'altra classificazione possibile si basa sull'origine dei combustibili, distinguendo tra combustibili naturali e derivati. I combustibili naturali si adoperano così come si trovano in natura, quelli derivati vengono forniti quali prodotti di trasformazione di combustibili naturali o di particolari lavorazioni industriali. Nella successiva tabella si riporta una possibile classificazione dei combustibili :

**Tabella 17 :** ***Classificazione dei combustibili***

| **Combustibili solidi** | | | |
|---|---|---|---|
| **NATURALI** | Carbon fossili (torba, lignite, litantrace, antracite),<br>Legna | **DERIVATI** | Coke (di carbon fossile)<br>Carbone di legna<br>Agglomerati vari |
| **Combustibili liquidi** | | | |
| **NATURALI** | Petrolio greggio | **DERIVATI** | Benzine di distillazione, gasolio, olio diesel,<br>olio combustibile |
| **Combustibili gassosi** | | | |
| **NATURALI** | Gas naturale (metano, butano, ecc.) | **DERIVATI** | Gas di città e di cokeria,<br>gas di generatori, gas di raffineria, acetilene, idrogeno |

### 2.2.1 Combustibili solidi

I combustibili solidi sono i più abbondanti e quelli che vengono usati da più tempo. Ad essi appartiene il più antico ed il più noto fra i combustibili: il legno. Stesse caratteristiche presentano tutte le sostanze che derivano dal legno come la carta, il lino, la juta, la canapa, il cotone, ecc. Una caratteristica importante è la **pezzatura**, definita come il rapporto tra il volume e la sua superficie esterna {9}. Se un combustibile ha una grande pezzatura vuol dire che le sue superfici a contatto con l'aria sono relativamente scarse ed inoltre ha una massa maggiore per disperdere il calore che gli viene somministrato. In pratica un pezzo piccolo prende fuoco facilmente anche con sorgenti a temperatura relativamente bassa, mentre un pezzo sufficientemente grande prende fuoco con molta più difficoltà [22], {10}. In generale, sia per i combustibili solidi che per quelli liquidi, si ha che quando il combustibile è suddiviso in piccole particelle, la quantità di calore da somministrare è tanto più piccola quanto più piccole sono le particelle, sempre che naturalmente si raggiunga la temperatura di accensione. Così il legno che in grandi dimensioni può essere considerato un materiale difficilmente combustibile, quando invece è suddiviso allo stato di segatura o addirittura di polvere può dar luogo addirittura ad esplosioni. Per un combustibile solido diventa quindi fondamentale la sua *suddivisione*. Una grossa pezzatura comporta un basso rischio di incendio, mentre con una pezzatura piccola lo stesso materiale risulta molto pericoloso. Va notato che nel caso di materiali di grossa pezzatura diventa rilevante non solo il fatto che la sorgente di calore abbia una temperatura elevata ma anche il *tempo di esposizione* alla sorgente di calore. Altri combustibili solidi sono : i carboni fossili come lignite, litantrace, antracite, la torba e gli agglomerati.

La combustione dei solidi {11} è un fenomeno più complesso rispetto a quella dei liquidi o dei gas poiché solitamente il processo avviene per stadi e prevede diverse modalità di combustione contemporaneamente presenti : una combustione con fiamma, una combustione a brace e la piroscissione delle sostanze solide. Per effetto dell' innalzamento della temperatura i solidi subiscono un processo di degradazione del materiale superficiale che comporta la demolizione delle molecole costituenti ed emissione di sostanze volatili infiammabili (processo di distillazione detto *pirolisi*) che a contatto con l'aria bruciano con fiamma (appunto *combustione con fiamma*) [17], [24],[29]; inoltre una parte del calore prodotto, da luogo all'instaurarsi di una reazione esotermica capace di autosostenersi, infatti riscalda la massa adiacente del combustibile con emissione di ulteriori sostanze volatili infiammabili (altra pirolisi) che alimenteranno e manterranno la fiamma e la combustione prosegue in questo modo fino all'esaurirsi di tutti i vapori infiammabili per poi proseguire sotto forma di brace. Poiché il fenomeno impegna notevoli quantità di energia, nonostante i solidi possano sviluppare ingenti quantità di calore e volumi di fumi, finiscono per bruciare con velocità inferiore a quella dei gas e dei liquidi. La *combustione a brace* (combustione lenta senza formazione di fiamme), si manifesta quando l'ossigeno dell'aria penetra all'interno del solido in combustione attraverso fessurazioni in esso presenti, porosità o crepe provocate dal calore stesso della combustione e da fenomeni di piroscissione. Inoltre il processo di combustione delle sostanze solide porta alla formazione di braci che sono costituite dai prodotti della combustione dei residui carboniosi della combustione stessa, mentre i residui della combustione di materiali solidi vengono chiamate *ceneri*. Bisogna però distinguere dai solidi che fondono prima di passare allo stato aeriforme per i quali la combustione è analoga a quella dei gas e liquidi, dai solidi che possono

bruciare passando direttamente dallo stato solido ad aeriforme senza fondere. La combustione delle sostanze solide è caratterizzata dai diversi parametri che fanno in modo che la velocità di combustione dei solidi non sia costante : dalla pezzatura (una volta innescata la combustione procede in modo tanto più rapido e vorace quanto maggiore è il grado di suddivisione dei materiali potendo giungere più ossigeno sulle superfici libere) e forma del materiale, dal grado di porosità del materiale, dagli elementi che compongono la sostanza, dal contenuto di umidità del materiale, condizioni di ventilazione e di efflusso di aria, dalla dispersione nell'ambiente del calore sviluppato, dalla disposizione delle sostanze rispetto al fronte di avanzamento del fuoco, dalla geometria dei luoghi. A seconda delle temperature in gioco, della velocità di combustione, della natura delle sostanze coinvolte nell'incendio possono formarsi prodotti chimici molto diversi e in percentuali molto variabili. In generale il volume di gas combustibili e vapori prodotti nel corso degli incendi è dell'ordine di molte centinaia di litri per chilogrammo di materiale solido coinvolto e se diluiti nell'aria e dilatati dal calore, possono addirittura raggiungere volumi dell'ordine di molte migliaia di litri per chilogrammo di solido. Possiamo infine definire *incombustibili solidi* le sostanze che non bruciano, mentre i *combustibili solidi* possono distinguersi in:

- ✓ *difficilmente combustibili* (sostanze che prendono fuoco a contatto con la sorgente di ignizione e smettono di bruciare appena quest'ultima si allontana);
- ✓ *combustibili* (sostanze che prendono fuoco a contatto con la sorgente d'ignizione e che sono capaci di continuare a bruciare da sole),

- ✓ *facilmente accendibili* (sostanze che iniziano a bruciare rapidamente per effetto di una sorgente d'ignizione debole come una scintilla o corto circuito);
- ✓ *difficilmente accendibili* (sostanze che prendono fuoco per effetto di una elevata sorgente d'ignizione).

### 2.2.2 Combustibili liquidi

I combustibili liquidi {11} sono, tra i combustibili, quelli che presentano il più elevato potere calorifico per unità di volume. Quelli artificiali sono pochi e di scarsa importanza, mentre ben più importante è la classe dei naturali, alla quale appartengono i petroli e dei derivati (benzina, cherosene, gasolio e olio combustibile). In generale tutti i combustibili liquidi sono in equilibrio con i propri vapori, che si sviluppano in misura differente a seconda delle condizioni di pressione e di temperatura, sulla superficie di separazione tra liquido e mezzo che lo sovrasta. I liquidi infiammabili non bruciano come tali ma come vapori originati in corrispondenza della superficie dei liquidi che si comportano come gas combustibili, e la combustione avviene quando i vapori, miscelandosi con l'ossigeno dell'aria in concentrazioni comprese nel campo di infiammabilità, sono opportunamente innescati. Pertanto per bruciare in presenza di innesco, un liquido infiammabile deve passare dallo stato liquido allo stato vapore. L'indice della maggiore o minore combustibilità di un liquido è fornito dalla temperatura di infiammabilità (tanto più bassa è tale temperatura più grave è il pericolo di incendio) e in base ad essa i combustibili liquidi vengono catalogati come visto parlando della temperatura di infiammabilità in categoria A, B, o C. Pertanto al raggiungimento di tale temperatura la superficie del liquido emette vapori in quantità tali, che mescolati con l'aria, danno luogo a una combustione

in presenza di innesco. Il calore sviluppato provoca l'evaporazione di ulteriore liquido che, combinandosi con l'ossigeno dell'aria mantiene la combustione.

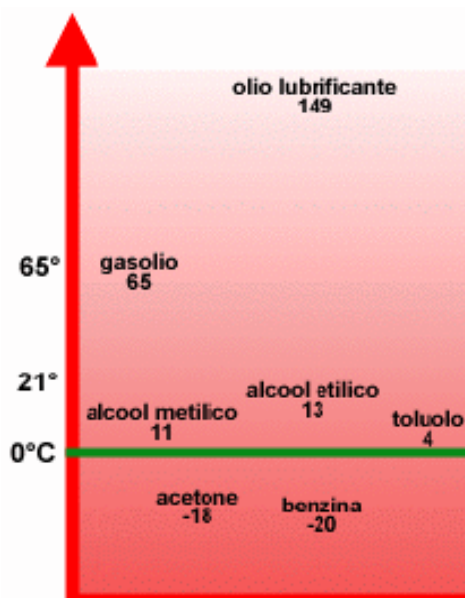



**Figura 15 :** ***Temperature di infiammabilità in °C***

Altri parametri che caratterizzano i combustibili liquidi sono la temperatura di accensione e di infiammabilità, i limiti di infiammabilità, la viscosità e la densità dei vapori. Tanto più è bassa la temperatura di infiammabilità tanto maggiori sono le probabilità che si formino vapori in quantità tali da essere incendiati. Particolarmente pericolosi sono quei liquidi che hanno una temperatura di infiammabilità inferiore alla temperatura ambiente, in quanto anche senza subire alcun riscaldamento, possono dar luogo ad un incendio. Fra due liquidi infiammabili entrambi con temperatura di infiammabilità inferiore alla temperatura ambiente è comunque da preferire quello a più alta temperatura di infiammabilità in quanto a temperatura ambiente emetterà una minore quantità di vapori infiammabili, diminuendo così le possibilità che si formi una miscela aria - vapori nel campo d'infiammabilità. Ulteriori elementi negativi per quanto riguarda il pericolo di incendio sono rappresentati da:

- ✓ bassa temperatura di accensione del combustibile, che comporta una minore energia di attivazione per dare inizio alla combustione;
- ✓ ampio campo di infiammabilità, in quanto risulta più esteso l'intervallo di miscelazione vapore - aria per il quale è possibile l'innesco e la propagazione dell'incendio.

Un'ultima considerazione [22] si deve fare a proposito della **densità** dei vapori infiammabili, definita come la massa per unità di volume di vapori del combustibile. I combustibili più pericolosi sono quelli più pesanti dell'aria, in quanto in assenza o scarsità di ventilazione tendono ad accumularsi e a ristagnare nelle zone basse dell'ambiente formando più facilmente miscele infiammabili.

### 2.2.3 Combustibili gassosi

Fra i combustibili gassosi naturali, i più importanti sono senza dubbio gli idrocarburi gassosi: metano, etano, propano e butano, mentre fra i combustibili gassosi artificiali merita un cenno l'idrogeno. Questi combustibili sono migliori dei combustibili liquidi naturali perché sono generalmente molto puri, possono essere miscelati facilmente con l'aria (e quindi con l'ossigeno) per avere un'ottima combustione e bruciano senza dare origine a sostanze incombuste e a fumi. L'unico rischio, comune peraltro a quasi tutti i combustibili naturali, consiste nella possibile formazione di monossido di carbonio se la disponibilità di ossigeno è limitata. I gas in base alle loro caratteristiche fisiche vengono divisi in: gas *leggeri* e gas *pesanti* [22]. I primi presentano densità rispetto all'aria inferiore a 0,8 (idrogeno, metano, ecc.) una volta liberati dal proprio contenitore tendono a stratificare verso l'alto. I secondi invece hanno una densità rispetto all'aria superiore a 0,8 (GPL, acetilene, ecc.) e quando liberati dal proprio contenitore tendono a stratificare e a

permanere nella parte bassa dell'ambiente e a penetrare in cunicoli o aperture praticate a livello del piano di calpestio.
Il comportamento dei combustibili gassosi [17] è analogo a quello dei vapori dei liquidi infiammabili anche se bisogna tenere presente che il sistema gassoso (combustibile-comburente) può essere o chimicamente uniforme (combustibile - comburente mescolati prima dell'ignizione) oppure chimicamente non uniforme (ignizione e combustione avvengono simultaneamente al mescolamento del gas e del comburente). Per questi combustibili oltre alla presenza del materiale combustibile, del comburente e di un punto d'ignizione a temperatura uguale o superiore a quella del materiale combustibile deve sussistere una quarta condizione cioè che la proporzione relativa del combustibile gassoso rispetto a quella del comburente gassoso (ossigeno o aria) deve essere compresa entro i limiti inferiore e superiore di infiammabilità [15].
Le combustioni con fiamma sono possibili solo quando le sostanze incendiabili sono in fase gas o vapore e abbiamo visto che combustioni possono aver luogo solo quando la percentuale delle sostanze disperse in aria è compresa entro due valori, uno minimo e l'altro massimo, chiamati rispettivamente limite inferiore e superiore di infiammabilità, il fenomeno è chiaramente mostrato nella figura seguente e l'andamento può essere spiegato dalla teoria cinetica del calore [29]. Fino a quando le molecole combustibili disperse in aria non raggiungono un numero sufficientemente elevato, le collisioni con le molecole di ossigeno e le conseguenti ossidazioni non riescono a generare, nell'intorno del punto in cui avvengono, una temperatura, ossia un incremento di energia cinetica delle particelle circostanti, pari o superiore a quella occorrente all'innesco delle reazioni a catena che caratterizzano le combustioni con fiamma.

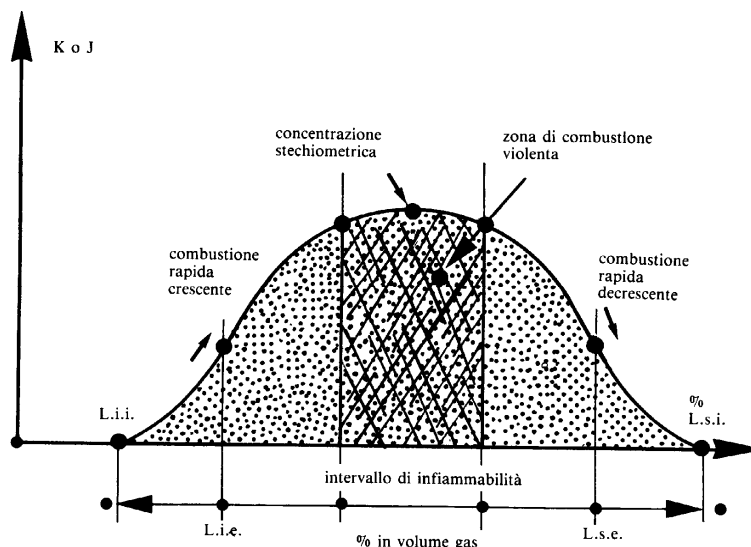



**Figura 16 :** ***Campo di infiammabilità di miscele infiammabili***

Successivamente aumentando il numero delle molecole combustibili, cresce il numero delle ossidazioni possibili e la quantità globale di calore rilasciato. Questa crescita cessa allorquando tutte le molecole di ossigeno possono combinarsi con le molecole combustibili presenti nella miscela. Superato un certo rapporto (detto stechiometrico), l'intensità della combustione non può che decrescere perché una quota parte dell'energia cinetica attivata dalle ossidazioni viene assorbita e dispersa dalle innumerevoli collisioni improduttive che hanno luogo con particelle inerti a causa dell'insufficiente numero di molecole di ossigeno contenute nella miscela. Le reazioni a catena che sostengono la fiamma a un certo punto cessano e il processo di combustione si arresta. Ciò avviene ovviamente quando il numero delle molecole combustibili raggiunge e supera il valore cui corrisponde, in termini percentuali il limite superiore di infiammabilità.

I limiti di infiammabilità variano sensibilmente da sostanza a sostanza {12} e dipendono, per una stessa sostanza, da molteplici fattori quali la pressione alla quale avviene la combustione, la temperatura della fonte di accensione, il tempo durante il quale opera tale fonte, la turbolenza della

miscela, la geometria dell'ambiente, la quantità di calore che si sviluppa con la combustione, i calori specifici delle sostanze reagenti; in presenza di gas inerti, inoltre, si ha una notevole contrazione del campo di infiammabilità, un aumento di pressione produce di regola un allargamento di detto campo e lo stesso effetto provocano, gli aumenti di temperatura. L'accensione nel caso di combustione con fiamma richiede che in un punto almeno delle miscele aeriforme-aria la temperatura sia portata per un certo tempo, detto di *induzione*, al di sopra di un determinato valore e la combustione ottimale si ha quando il rapporto fra combustibile e comburente (detto *stechiometrico)* è tale che tutti gli atomi di ossigeno e tutti gli atomi combustibili presenti in esse si combinano fra loro.

Nel caso dei *liquidi* la combustione con fiamma può sostenersi solo se evapora una quantità di liquido sufficiente a formare una miscela vapore –aria compresa nei limiti di infiammabilità. Nei liquidi *infiammabili* avviene un continuo rilascio nell'ambiente di vapori formanti miscele infiammabili, poiché l'energia termica sottratta dalle molecole che evaporano viene reintegrata dagli scambi termici fra liquido e ambiente, per cui risultano molto pericolosi potendosi formare sacche esplosive nelle zone più basse o in cavità in cui i vapori, più pesanti dell'aria, si raccolgono e per i quali basta una fonte di ignizione di bassissima energia perché segua una esplosione cui segua un incendio. Invece risultano molto meno pericolosi i liquidi *combustibili* che non rilasciano una quantità di vapori sufficiente a formare miscele infiammabili. Per entrambi e tipi di liquidi le miscela vapore–aria bruciano solitamente con la cosiddetta *fiamma di diffusione* {12}: l' ossigeno dell'aria diffonde nella massa di vapori e gas creando le condizioni per l'innesco e il sostentamento della combustione con fiamma e le miscele rilasciano energia raggiante in quantità notevoli sotto forma di fotoni. I fotoni

(energia elettromagnetica) investono la superficie del liquido cui cedono calore sufficiente a mantenere l’evaporazione e a sostenere la fiamma per cui il liquido si scalda in superficie rilasciando vapore che alimenta il fuoco e determinando così un aumento della vivacità delle fiamme, del calore sviluppato e del volume e temperatura media dei fumi e susseguente ulteriore riscaldamento del liquido e formazione di vapore. Il fenomeno interessa però solo lo strato superficiale di liquido che dilatandosi per effetto del calore risulta più leggero degli strati sottostanti più freddi e non si verifica il rimescolamento che si avrebbe in caso di riscaldamento dal basso. Successivamente aumentando il numero di molecole che evaporano, le molecole di ossigeno, che procedono controvento, trovano difficoltà crescenti a diffondere nel vapore sempre più denso sul pelo libero del liquido. Di conseguenza la base delle fiamme si innalza rispetto alla superficie e diminuisce l’energia calorica trasmessa da esse al liquido; per cui si osserva una diminuzione dell’evaporazione e un raggiungimento di un equilibrio chimico che si protrae fino all’esaurimento del liquido [24].

## 2.3 CONDIZIONI NECESSARIE PER L’INNESCO E L’AUTOSOSTENTAMENTO

Alla luce delle considerazioni viste sulla combustione con fiamma si può affermare che l’innesco e l’ autosostentamento dell’incendio risulta possibile al verificarsi delle seguenti condizioni [24],[29] :

1) contemporanea presenza, in un certo spazio, di sostanze combustibili (in qualunque stato fisico) e aria sufficientemente ricca di ossigeno;

2) presenza di sostanze combustibili allo stato aeriforme o possibilità di pervenire ad esso, in modo da formare con il comburente miscele comprese entro i limiti di infiammabilità.
3) somministrazione di calore ad elevata temperatura, in almeno un punto della miscela, attraverso una qualunque sorgente (fiamma, scintilla, scarica elettrica, corpo caldo, ecc). Il calore deve essere fornito per un tempo sufficiente a :
    a. nel caso di *miscele infiammabili* in aria con composizione compresa entro i limiti di infiammabilità, vincere le forze di legame agenti fra gli atomi che costituiscono le molecole delle sostanze e innescare l' ossidazione a catena degli atomi di carbonio, idrogeno e degli elementi ossidabili presenti nella miscela, in modo da poter formare nuove molecole differenti con sviluppo di ingenti quantità di energia ad elevate temperature;
    b. nel caso dei *liquidi combustibili*, indurre la loro preventiva evaporazione in quantità sufficiente a formare miscele vapore – aria comprese nei limiti di infiammabilità e innescare la combustione;
    c. nel caso delle sostanze *solide combustibili*, provocare la demolizione termica (pirolisi) di almeno una piccola porzione di solido con conseguente formazione di prodotti aeriformi tali da formare con l'aria miscele combustibili comprese entro i limiti di infiammabilità e di innescare la combustione;
    d. generare, nello spazio circostante la zona di combustione, una temperatura non inferiore a quella occorrente a sostenere il processo di combustione al cessare della somministrazione di calore da parte della fonte di ignizione;

4) attivazione di un tiraggio, da parte del calore generato dalla combustione, sufficiente a indurre l'evacuazione dei fumi dallo spazio in cui si formano e concomitante afflusso di aria fresca recante ossigeno in quantità sufficiente a sostenere le reazioni di ossidazione a catena che caratterizzano le combustioni con fiamma.

L'incendio una volta innescato, in assenza di appropriati interventi repressivi, prosegue aumentando o scemando di intensità in dipendenza della quantità e natura delle sostanze combustibili presenti o che man mano pervengono e del flusso di aria occorrente al mantenimento delle condizioni viste. Va comunque precisato che un incendio può propagarsi anche a distanze ragguardevoli se l'energia elettromagnetica irraggiata è talmente considerevole che le sostanze combustibili investite da tale flusso subiscano aumenti di temperatura tali da instaurare in esse le condizioni occorrenti per la combustione con fiamma. Inoltre l'evoluzione dell'incendio è sempre influenzata in maniera considerevole dal tiraggio, ad incendio avvenuto è di regola la quantità di aria fresca che perviene alla radice del fuoco a determinare il numero di reazioni di ossidazione contemporaneamente possibili e quindi il vigore delle fiamme.

## 2.4 PROVVEDIMENTI PER CONDIZIONARE L'EVOLUZIONE DEGLI INCENDI

Vista la necessità della concomitanza delle condizioni precedenti per insorgenza degli incendi e l'autosostentamento, è pertanto possibile influire sull'evoluzione degli incendi in modo da impedirne l'espansione, contenerne gli effetti ed ottenerne lo spegnimento nei seguenti modi [20],[35] :

1) sottraendo, mediante urti parassiti e improduttivi con minutissime particelle di sostanze incombustibili disperse nella zona delle fiamme, gran parte dell'energia cinetica alle particelle ossidabili presenti ossia raffreddando;
2) ostacolando il tiraggio della combustione, ossia l'evacuazione dei fumi e quindi l'afflusso di aria fresca ricca di ossigeno; per *tiraggio* bisogna intendere sia il movimento dell'aria che alimenta il fuoco, sia quello dei fumi prodotti dal fuoco stesso che, per spinta archimedea ascendono nell'aria ambiente o in condotti appositamente predisposti.
3) sottraendo o riducendo la massa delle sostanze combustibili che possono essere coinvolte nel fenomeno;
4) immettendo nelle miscele infiammabili, che alimentano le fiamme, sostanze aventi la proprietà di influire negativamente sui meccanismi che sostengono le reazioni a catena che portano alla generazione delle fiamme. Tali sostanze, incorporanti di solito atomi di cloro, bromo, fluoro e iodio, opererebbero secondo la più accreditata teoria sui radicali liberi che attivano le reazioni a catena.

## 2.5 ESPLOSIONI

Un' esplosione [17], [20], [27], [36 a 38], è causata dalla liberazione rapidissima, incontrollata ed inarrestabile di energia e si manifesta con produzione di un' onda meccanica (sovrapressione) accompagnata da un fragore (boato) e, nelle esplosioni termiche da luce e calore. Le esplosioni termiche derivano unicamente da un processo di combustione in cui la velocità di reazione è estremamente elevata e caratterizzata dalla produzione nell'unità di tempo un volume di gas ad alta temperatura e in

quantità enorme e da una rapidissima espansione che partendo dal centro dell'esplosione diffonde pressione e calore a livelli elevati. Se di grande rilevanza possono essere prodotte da miscele infiammabili di gas e vapori, da polveri combustibili sospese in aria e da esplosivi. L'energia di un esplosione, fondamentalmente liberata sottoforma di onda di scoppio, si suddivide in tre forme: un lavoro meccanico di compressione che irradiato dal centro di esplosione si esercita sul mezzo circostante, in calore e energia cinetica associata al vento susseguente l'onda di scoppio. Col procedere del fronte d'onda si verifica un trasferimento dell'energia dell'onda agli strati che vengono attraversati, per cui l'aria subisce una compressione muovendosi nella direzione dell'onda e l'energia si distribuisce nello spazio con valori inversamente proporzionali al quadrato della distanza (onda sferica). Dopo una frazione di secondo in cui si crea una regione di pressione positiva segue una fase di risucchio in cui la pressione è sotto il livello atmosferico e si determina un'onda retrograda con il vento che inverte la direzione. L'onda anteriormente è delimitata da un fronte d'urto che comprime e riscalda gli strati successivi fino a far raggiungere la temperatura di accensione della sostanza o a produrne la decomposizione negli esplosivi e il calore che si sussegue nelle reazioni successive mantiene costante l'intensità e la velocità del fronte d'urto.

Si parla di *deflagrazione* quando la reazione esotermica si propaga a velocità inferiore a quella del suono (nell'ordine delle centinaia di metri al secondo) e nel caso si determinano aumenti della pressione 8 volte maggiori della pressione iniziale; si parla invece di *detonazione* se la velocità della reazione è superiore di quella del suono (340m/s) nel qual caso si determinano aumenti della pressione di 20 volte la pressione iniziale. Mentre nelle deflagrazioni l'onda di pressione (onda d'urto) è molto più veloce dell'onda di combustione, nella detonazione le due

velocità differiscono solo lievemente in dipendenza di diversi fattori (il tipo di combustibile, il rapporto di miscelazione col comburente, la pressione esterna o la temperatura). Impropriamente si adopera il termine di esplosione per alcuni fenomeni che non costituiscono in effetti esplosioni termiche :

1) **Bleve** : esplosione connessa alla rottura di recipienti contenenti gas liquefatti sotto pressione, per cause accidentali o perché esposti a fonte di calore. Poiché il liquido nel contenitore è a una temperatura molto al di sopra del suo punto di ebollizione a pressione atmosferica, nel momento della rottura del recipiente, la pressione interna decresce rapidamente e una parte del liquido evapora rapidamente producendo un volume di vapore notevolmente maggiore del volume del liquido; la rapida esplosione dei vapori determina così una vera e propria onda d'urto meccanica che può portare alla proiezione di frammenti del contenitore a distanza, inoltre se la sostanza è infiammabile per effetto della vaporizzazione del prodotto si può determinare una nube ulteriormente suscettibile di esplosione termica.
2) **Esplosioni fisiche** : fenomeni che si determinano per effetto del contatto esteso e immediato di liquidi molto caldi o di metalli fusi o liquidi criogenici con l'acqua e qualora il vapore derivante dal fenomeno risulti infiammabile ne può conseguire un'esplosione termica.
3) **Scoppi da sovrapressioni** : fenomeni che si determinano per cedimento meccanico di tubazioni o recipienti attraversati o contenenti fluidi sotto pressione accompagnati da un' onda d'urto meccanica e proiezione di frammenti e in seguito al rilascio nello scoppio di sostanze combustibile prodotte ne può conseguire, in

presenza di temperatura di accensione, un incendio o un' esplosione termica.

### 2.5.1 Esplosione di miscele infiammabili di gas o vapori

In caso di miscele aeriformi combustibili con aria confinate, all'interno di locali o recipienti, con composizione compresa tra i limiti di infiammabilità, e per circostanze legate alle caratteristiche dimensionali dei luoghi, cavità o involucri nei quali i fenomeni avvengono, può accadere che la velocità con cui il fronte di fiamma si propaga assume valori molto elevati da portare a una pressoché istantanea combustione completa di tutta la miscela. Di conseguenza è impedita la propagazione del calore nell'intorno, vista la rapidità della combustione e tutto il calore sviluppato permane nei prodotti della combustione che possono raggiungere temperature e pressioni sufficienti a dar luogo al fenomeno esplosivo e a produrre effetti distruttivi gravi, specie se la miscela satura delle cavità o ambienti chiusi. Se inoltre la velocità con la quale si libera il calore nella reazione è maggiore di quella con la quale il calore si disperde all'esterno, si verifica un aumento istantaneo della temperatura che accelera ulteriormente la velocità di reazione, liberando di conseguenza una quantità ancor maggiore di calore con la miscela che reagisce in tempi brevissimi consumandosi per effetto di un'onda di combustione che accelerandosi a causa della turbolenza e dell'agitazione della miscela passa da un'onda di combustione lenta a un'onda di detonazione ad alta velocità.

### 2.5.2 Esplosione di polveri combustibili sospese in aria

Le polveri di sostanze ossidabili sospese in aria presentano gli stessi rischi di incendio e di esplosione dei gas e vapori infiammabili, anche se

per l'ignizione occorrono energie sensibilmente più grandi di quelle richieste dalle miscele di gas e vapori in aria. L' incendiabilità ed esplosività dipende da molti fattori tra cui la granulometria e distribuzione delle polveri che possono trovarsi depositate in strati (nel qual caso danno luogo a una normale combustione) o sospese in aria (in cui possono assimilarsi ai gas come comportamento e dar luogo a ignizione o esplosione a seconda se la concentrazione rientra nei limiti di infiammabilità), dalla composizione della miscela, dalla presenza di umidità e dall'energia della sorgente di ignizione.
Le principali norme UNI di riferimento sono : la UNI EN 26184/1 (Determinazione degli indici di esplosioni di polveri combustibili in aria), la UNI EN 26184/2 (Determinazione degli indici di esplosione di gas combustibili in aria), UNI EN 26184/3 (Determinazione degli indice di esplosione di miscele combustibili/aria diverse da miscele polvere/aria e gas/aria).

## 2.6 AUTOCOMBUSTIONE

Si verifica l'autocombustione o combustione spontanea [15],[17],[39] quando una sostanza combustibile, senza l'intervento di uno specifico innesco esterno, si ossida naturalmente con progressivo incremento della velocità di reazione fino a degenerare in una vera e propria combustione. Il fenomeno ha origine da un processo chimico naturale di ossidazione spontanea : quando un materiale combustibile è esposto all'aria si ossida (reazione con produzione di calore) e si verifica una combustione lenta e se il calore non viene disperso da una sufficiente ventilazione il combustibile continua a ossidarsi e a riscaldarsi fino ad arrivare alla temperatura di ignizione e si ha la trasformazione da combustione lenta in

combustione viva (autocombustione). Il processo può essere attivato da diversi fattori:

- ✓ reazione chimica diretta di ossidazione all'aria ad azione rapida e talvolta istantanea (polveri metalliche, magnesio, trucioli) o ad azione lenta (carboni, oli, stracci unti);
- ✓ iniziale azione di microrganismi, fenomeno di fermentazione con sviluppo di sostanze gassose e innalzamento della temperatura (farine, carta da macero, oli vegetali ed animali);
- ✓ reazione con l'acqua o con l'umidità dell'aria (calce, sodio, potassio);
- ✓ decomposizione chimica (perossidi, acetilene, nitrocellulose);
- ✓ azione dell'ossigeno puro (grassi, oli, carbone, vernici);
- ✓ presenza di ossidanti diversi dall'ossigeno o di catalizzatori (fluoro);

Affinché si verifichi l' autocombustione occorre la coesistenza di molti fattori favorevoli: entità del cumulo (infatti se le sostanze sono immagazzinate a mucchi può accadere che il calore prodotto non riesca a disperdersi all'esterno e si accumula nella massa della sostanza e la temperatura interna si innalza sempre più, determinando un' accelerazione della reazione e ulteriore sviluppo di calore finché può raggiungersi la temperatura di accensione), particolare geometria della superficie esterna che renda il contatto combustibile-comburente elevato, presenza di umidità nel caso di innesco di fenomeno per trasformazione batterica, presenza di sufficiente quantità di aria all'interno della massa, scarsa ventilazione, temperature ambientale senza notevoli escursioni (la temperatura elevata è una condizione maggiormente predisponente per l'autocombustione).

Si possono suddividere le sostanze in materiali ad *alto rischio* di combustione spontanea (carbone di legna, colori ad olio, olio di lino e di

pesce, stracci o tessuti di seta, cotone, canapa ecc. imbevuti di colori ad olio), in materiali a *basso rischio* (acqua ragia vegetale, semi di cotone, olio di arachidi, di palma) e materiali a *rischio moderato* (feltri e cartoni bitumati, carta da macero umida, cuoi, fertilizzanti, stracci di lana unti, vernici raschiate, sintetici contenenti nitrati e materiale organico).

## 2.7 I PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE

I prodotti della combustione [20],[22],[24] possono essere suddivisi in 4 categorie : gas di combustione, fiamma, calore e fumo. Per **gas di combustione** si intendono quei prodotti della combustione che restano allo stato gassoso anche quando vengono raffreddati alla temperatura ambiente (15 °C), quindi non è compreso il vapore d'acqua che alla temperatura ambiente è liquido. I gas che si formano, prodotti corrosivi e tossici, dipendono da molte variabili, ma essenzialmente dalla composizione chimica dei combustibili, dalla quantità di ossigeno disponibile e dalla temperatura che si raggiunge durante l'incendio. Tra i gas di combustione troviamo innanzitutto anidride carbonica $CO_2$ (gas asfissiante) se è presente ossigeno in abbondanza, ossido di carbonio CO (tossico e costituisce il pericolo più grande) se l' ossigeno è scarso, poi si può trovare idrogeno solforato $H_2S$ (derivante da materiali contenenti zolfo come gomma, lana e pelli, è tossico se in percentuali elevate), anidride solforosa $SO_2$ (irritante), acido cianidrico HCN (altamente tossico anche se si forma in quantità modeste generalmente), acido cloridrico HCl (altamente corrosivo, deriva dalla combustione di sostanze contenenti cloro come le materie plastiche), vapori nitrosi (ossido e perossido di azoto altamente tossici), fosgene $COCl_2$ (altamente tossico, è presente nella combustione di materiali contenenti cloro), ammoniaca $NH_3$ (sostanza intossicante, derivante da materiali contenenti azoto) ed

aldeide acrilica o acroleina $CH_2CHCHO$ (altamente tossica derivante dalla combustione di prodotti derivati dal petrolio), acido fluoridrico (tossico e prodotto dalla combustione di quasi tutte le materie plastiche).

Il **calore** è l'energia che si sviluppa durante la combustione ed è la causa principale della propagazione dell'incendio determinando l'innalzamento della temperatura dell'ambiente e del sistema combustibile/comburente, è la causa dei danni arrecati al patrimonio e rappresenta un pericolo per le persone. Il flusso di energia termica procede sempre nel verso delle temperature decrescenti e cessa quando l'energia cinetica media perviene a un identico valore o livello. La trasmissione del calore è noto che può avvenire [15] per conduzione (il calore si trasferisce da un corpo ad un altro per diretto contatto) per irraggiamento o radiazione ( il calore si trasferisce da un corpo all'altro, anche distanti fra loro, attraverso dei raggi calorifici che attraversano lo spazio interposto in tutte le direzioni) e per convezione (la trasmissione del calore avviene per interposizione di un fluido, un gas o un liquido).

Il **fumo** è costituito da piccole particelle solide (aerosoli), liquide (nebbie) o vapori condensati in sospensione nell'aria. Le particelle solide sono costituite da catrami, particelle di carbonio, nerofumo ed altre sostanze incombuste presenti specie quando la combustione è incompleta perché avviene in mancanza di ossigeno e vengono trascinati dai gas caldi della combustione; le particelle liquide sono costituite essenzialmente da vapore d'acqua che si forma per evaporazione dell'umidità dei combustibili, ma soprattutto dalla combustione dell'idrogeno. Tale vapore d'acqua, quando i fumi si raffreddano al dei sotto di 100 °C, condensa dando luogo a dei *fumi bianchi*, mentre i residui solidi, costituiti da incombusti e ceneri hanno invece colore nero. Il fumo si diffonde con velocità dell'ordine dei m/s arrecando danni al patrimonio e risulta pericoloso per le persone causando difficoltà di respirazione,

soffocamento e scarsa visibilità ostacolando così sia la fuga delle persone che l'opera dei soccorritori.

Le **fiamme** sono costituite dall'emissione di luce conseguente alla combustione di gas sviluppatisi in un incendio e rappresentare il principale veicolo dell'incendio permettendone la veloce propagazione oltreché un pericolo per le persone. In particolare nell'incendio di combustibili gassosi è possibile valutare dal colore della fiamma approssimativamente il valore raggiunto dalla temperatura di combustione [46].

**Figura 17 :** ***Scala cromatica delle temperature nella combustione dei gas***

## 2.8 DINAMICA DI SVILUPPO DI UN INCENDIO

Esistono [17],[22],[27],[39],[ [41e 42] due diverse teorie relative alle fasi di un incendio per quanto riguarda l'andamento della temperatura in funzione della variabile tempo :

- ✓ la prima suddivide in 3 fasi l'incendio (accensione, incendio vero e proprio ed estinzione), considerando il flash over (punto culmine

dell'accensione) come il punto finale della prima fase ovvero il passaggio dalla fase di accensione a quella di incendio vero e proprio;

- ✓ la seconda individua 4 fasi (propagazione, flash over, incendio vero e proprio, estinzione) e considera il flash over una fase vera e propria.

Per motivi di chiarezza mi sembra opportuno considerare la schematizzazione in 4 fasi.

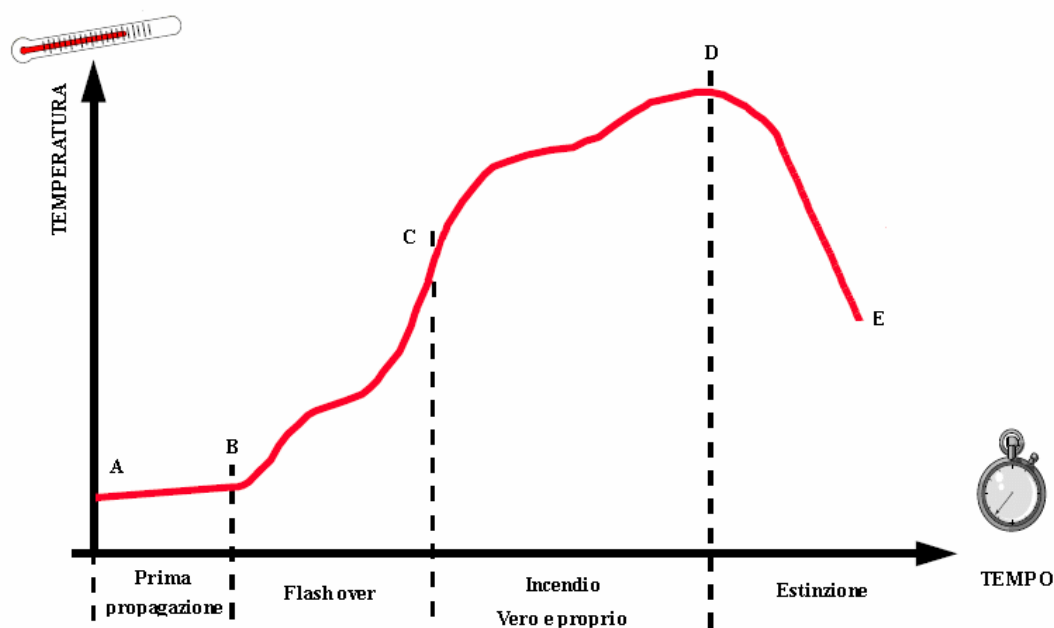



**Figura 18 :** ***Diagramma temperatura tempo dell' incendio***

La **prima fase**, susseguente all'innesco, è detta di *ignizione* (o di sviluppo o di prima propagazione e talvolta anche di induzione o covante) e il diagramma della temperatura T in funzione del tempo t presenta un andamento rettilineo indicante un aumento della temperatura proporzionale al trascorrere del tempo, ciò è dovuto fondamentalmente ad un ambiente freddo in cui il calore viene disperso e a quantità di calore prodotte che risultano modeste per effetto della dispersione, dell'evaporazione dell' umidità dei combustibili solidi e per la cessione

del calore al combustibile e alle strutture. L'inclinazione della retta e quindi la velocità dell'aumento di temperatura dipende dalle caratteristiche chimiche della sostanza, dalla disposizione delle sostanze combustibili e presenza di discontinuità che ostacolano la propagazione, dallo stato di suddivisione del materiale, dalle condizioni di ventilazione. La maggior parte del calore prodotto dal focolaio di incendio è assorbita dai materiali circostanti per cui il fuoco può impiegare tempi anche molto lunghi prima di propagarsi all'intorno e sfociare in un incendio vero e proprio. Affinché i materiali solidi brucino, occorre infatti provocare innanzitutto l'evaporazione dell'umidità contenuta dopodiché verrà indotta la pirolisi, per cui la temperatura stazionerà per il tempo occorrente alla evaporazione su temperature di poco superiore ai 100 °C, poi eliminata l'umidità, la temperatura aumenta. In questa fase le temperature sono piuttosto basse, con l' incendio che inizia con emissione di aerosol invisibili, avvertibili all'olfatto *(puzza di bruciato)* o con specifici rivelatori d'incendio. Successivamente inizia l'emissione di fumo visibile, seguito da emissione di piccole fiamme, che poi divengono sempre più vivaci ma il fuoco non risulta esteso a tutto il sistema, i danni sono lievi, lo spegnimento dell'incendio è facilmente ottenibile attraverso un intervento dei soccorritori non pericoloso e le persone presenti possono tranquillamente porsi in salvo. Tale prima fase di sviluppo può essere brevissima, ma può anche durare per tempi lunghi *(minuti o ore)*, in dipendenza delle caratteristiche del combustibile e dell'ambiente.

La **seconda fase**, di passaggio dalla fase di prima propagazione a quella di propagazione generalizzata, è detta *flash over* e il diagramma della temperatura T in funzione del tempo t presenta un andamento esponenziale indicante un aumento notevole della temperatura in un breve intervallo di tempo. In questa fase si verifica una notevole produzione di gas di distillazione che con l'aria dell'ambiente formano

una miscela infiammabile innescata grazie alla temperatura raggiunta nella fase iniziale, dando inizio così una combustione in fase gassosa, con i fuochi conseguenti che aumentano di numero e intensità e temperature che tendono a uniformarsi nei diversi punti. Si sviluppa in questo modo una notevole quantità di calore, con temperatura che si innalza rapidamente (si raggiungono temperature di 600 °C) grazie a una minore dispersione di calore e a una maggiore velocità di combustione delle sostanze coinvolte che passa da 0,5 ÷ 1 kg/minuto dell' inizio combustione a 15 kg/min dopo il flash over. Questa fase si sviluppa dopo un tempo dall'accensione variabile da qualche minuto fino a 15÷20 minuti con normali condizioni di alimentazione dell'aria e fino a 30 minuti per scarsa alimentazione dell'aria. Il flash over è un punto di non ritorno, uno stadio irreversibile, visto che l'incendio diventa incontrollabile e violento e al di là del quale vi è scarsa possibilità che l'incendio si spenga da solo prima che il combustibile sia esaurito, per cui è la fase più pericolosa dello sviluppo dell'incendio in quanto qualsiasi persona si trovasse nel luogo del sinistro non riuscirebbe a sopravvivere a causa delle condizioni ambientali che si verificano con spegnimento del fuoco che diventa difficoltoso e pericoloso per i soccorritori, per cui per contenere i danni occorre intervenire prima del flash over. I soffitti dei siti interessati dall'incendio e le parti alte delle pareti assorbono calore e lo irradiano verso il basso e si verifica un effetto feedback per il quale man mano che procede l'incendio si ripete il processo con il susseguente riscaldamento dei gas combustibili formatisi e dei materiali presenti. Una volta raggiunta la temperatura di ignizione tutti i materiali presenti prendono fuoco simultaneamente con conseguente combustione generalizzata e passaggio alla fase di incendio vero e proprio.

La **terza fase** è detta fase di *incendio vero e proprio* (o centrale) in cui l' incendio manifesta al massimo i suoi elementi caratteristici (fiamme,

fumo, calore), vede un andamento della temperatura prima crescente molto rapidamente ed in modo esponenziale e poi più lentamente fino al raggiungimento della massima temperatura (1100 °C), per poi stabilizzarsi e successivamente decrescere verso la fase finale dell'incendio. In caso di incendi di lunga durata la temperatura potrebbe anche stabilizzarsi qualora i fenomeni termodinamici interni ed esterni all' ambiente si stabilizzassero anch'essi. Ciò in realtà è impedito da altre condizioni come l'azione contrapposta dell'ossigeno dell'aria che da un lato alimentando la combustione, contribuisce all'innalzamento della temperatura e dall'altro asporta il calore per convezione, determinando un raffreddamento dell'ambiente ed abbassamento della temperatura raggiunta. In questa fase si assiste al coinvolgimento nel processo di combustione di tutte le sostanze combustibili presenti nell'ambiente e si possono verificare situazioni che espandono l' incendio come il cedimento di strutture, l'irraggiamento termico o la trasmissione del calore attraverso strutture, tiraggio, fiamme che escono da aperture ed interessano zone sovrastanti, gas combustibili che non bruciano per carenza di comburente ma trasportati fuori trovano aria sufficiente all'innesco, trasporto di particelle incandescenti (faville).

Infine la **quarta fase** è detta di *estinzione* (e raffreddamento), dopo un tempo variabile in dipendenza della quantità del combustibile, del suo stato di suddivisione e delle condizioni di ventilazione ed a prescindere da eventuali azioni di spegnimento, la temperatura decresce più o meno rapidamente a per effetto del minor apporto di calore dovuto all'esaurirsi del combustibile e alla dissipazione di calore attraverso i fumi e di fenomeni di conduzione termica e quando la temperatura scende a 300 °C, con tendenza ulteriore a ridursi, l'incendio si considera esaurito.

Vediamo ora l' influenza che può avere un intervento esterno sull'incendio per capire anche come può essere organizzato.

- ✓ un intervento in fase di ignizione determina l'interruzione del fenomeno e poiché c'è un limitato sviluppo di energia termica, basterà una limitata energia d'intervento;
- ✓ un' intervento in fase immediatamente successiva al flash over, risulta inutile, perché la potenza che in quel momento si sta sviluppando non può essere contrastata da una adeguata potenza estinguente; anzi trovarsi sul posto proprio al momento del flash over è cosa abbastanza pericolosa, inoltre può succedere che aprendo il locale ove già da tempo è stata raggiunta la temperatura di flash over e quindi è in atto la fase di distillazione, si fornisce l'ossigeno per l'infiammazione generalizzata;
- ✓ un intervento che avviene durante l'incendio vero e proprio, determina una caduta più o meno rapida della curva T = f(t) in dipendenza del rapporto esistente tra la potenza dell'incendio e la potenza dei mezzi estinguenti. Certamente a quel punto è difficile conseguire la salvezza delle cose e delle persone coinvolte. Per cui è necessario disporre di uomini e di mezzi estinguenti in quantità adeguata a difendere anche le altre strutture attigue per modo che l'incendio non avanzi per conduzione, convezione o irraggiamento. Solo dopo essersi assicurati che l'incendio non può progredire è necessario affrontarlo impiegando con la massima efficacia possibile le risorse estinguenti disponibili;
- ✓ infine un intervento che avviene in fase di esaurimento dell'incendio, abbrevierà solamente la durata di tale fase.

### 2.8.1 Osservazioni sulla curva T = f(t)

Nella terza fase di incendio vero e proprio [29] si ha un andamento molto rapido in quanto in essa si verifica il massimo gradiente di temperatura e

una notevole influenza dell'apporto di ossigeno e della ventilazione ed infatti se vi è carenza di ossigeno viene ostacolata la formazione della miscela di vapori e ossigeno con gradiente risultante avente valore non elevato. Inoltre anche la temperatura massima risulta influenzata dalla presenza di ossigeno : se un ambiente è poco ventilato si produrrà molto fumo e le temperature risulteranno più basse, mentre se troppo ventilato grandi quantità di calore saranno sottratte. Essendo le temperature di combustione generalmente superiori ai 1000 °C, la temperatura massima di un ambiente interessato ad un incendio si assume tra 850 °C e 950°C e una volta raggiunta non potrà essere mantenuta ma tenderà a decrescere lentamente in quanto si verificano fenomeni di incenerimento che ostacolano il contatto tra ossigeno e combustibile e rallentano le vaporizzazioni successive. Pertanto allo stato attuale della ricerca teorica e sperimentale non risulta possibile individuare delle relazioni che permettano di prevedere in un incendio reale l'energia termica sviluppata, la massima temperatura raggiunta nei vari punti dell'ambiente interessato e la durata effettiva della combustione a causa dei molteplici parametri da tenere in considerazione e che interessano il fenomeno. Però al fine di stabilire il minimo grado di resistenza al fuoco che debbano avere le strutture e i materiali da utilizzare nelle costruzioni per evitare pericoli in caso di incendio occorre disporre di valori di riferimento delle temperature massime raggiungibili in un dato ambiente in relazione alla durata dell'incendio. A tale scopo sono state effettuate delle prove di incendio in scala reale utilizzando come materiale combustibile legno asciutto (avente un potere calorifico noto e pezzature calibrate) e variandone il rapporto fra il peso e la superficie dell'ambiente. In questo modo sono state ottenute delle famiglie di curve parametriche in cui la temperatura massima ambientale mostrava una tendenza alla stabilizzazione con il crescere del quantitativo di combustibile bruciato

piuttosto che una crescita indefinita. Questa curva, detta *curva standard* viene utilizzata nella costruzione di elementi soggetti a rischio incendio e ad essa bisogna attenersi per la crescita della temperatura nelle prove di resistenza al fuoco dei materiali.

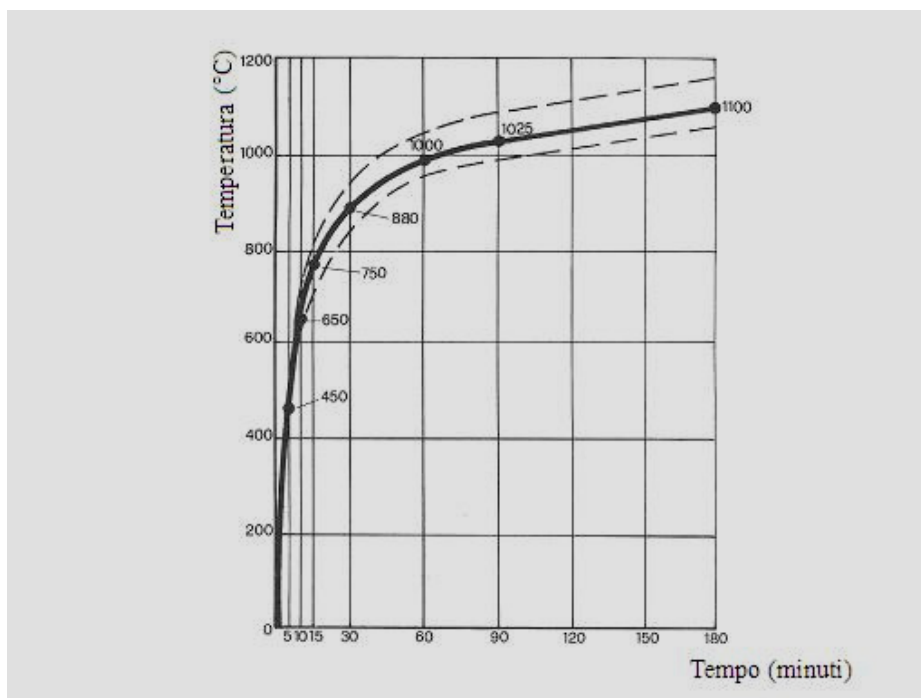



**Figura 19 :** ***Curva standard temperatura-tempo***

In realtà [24] essa non deve essere considerata l'andamento effettivo di un qualsiasi incendio reale in quanto : non fornisce informazioni sulla fase decrescente dell'incendio, essendo sempre crescente col tempo; non fornisce indicazioni sulle temperature durante il flashover o quando partecipano alla combustione materie plastiche combustibili allo stato espanso; non tiene conto del tiraggio; non fornisce la temperatura media effettiva di un ambiente colpito da incendio. Sperimentalmente si è notato che era possibile correlare il peso in chilogrammi per metro quadrato di legno secco utilizzato per alimentare gli incendi con la loro durata e la temperatura massima associata a tale durata che veniva fornita dalla curva temperatura – tempo, per cui noto il quantitativo di legna secca

impegnata dalla curva standard si può leggere in corrispondenza della durata dell'incendio la temperatura massima che può instaurarsi.

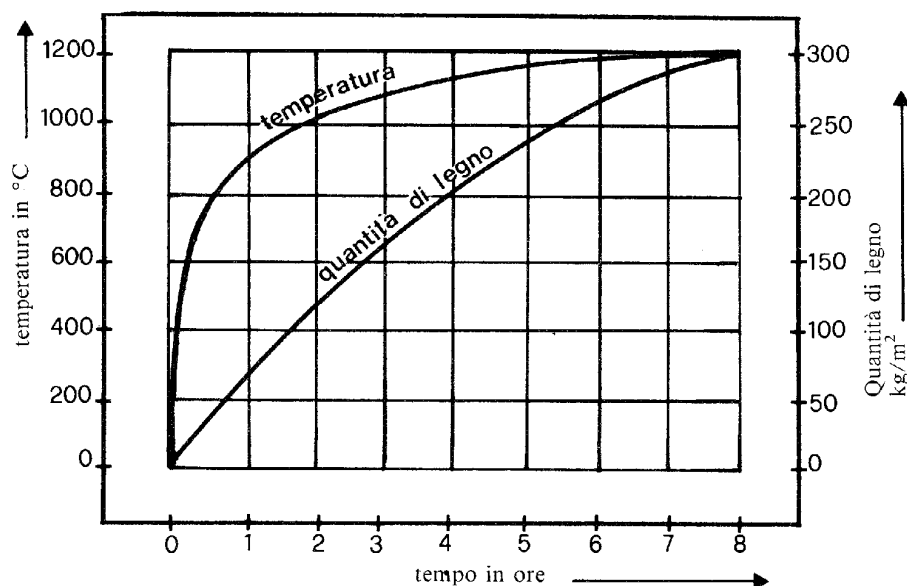



**Figura 20 :** ***Temperatura massima e durata combustione per quantità ideali di legna***

Occorre ribadire che si tratta solo di un parametro ideale di riferimento in quanto nell'incendio reale le cose vanno diversamente. Per la determinazione del **carico incendio** risulta necessario :

- ✓ individuare tutti gli elementi combustibili esistenti nel comparto o ambiente in esame e determinazione dei loro pesi;
- ✓ calcolare il potere calorifico che compete a tutti gli anzidetti elementi e materiali (ottenibile moltiplicando il loro peso per il potere calorifico della sostanza con la quale sono stati realizzati, espressa in kcal);
- ✓ dividere la somma di tutti i valori così ottenuti sia per 4.400 (potere calorifico del legno standard), sia per la superficie dell' ambiente o comparto considerato, espressa in $m^2$.

La relazione che sintetizza le anzidette operazioni è la seguente:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{n} g_i \cdot H_i}{4.400 \cdot A}$$

nella quale:

q = carico di incendio in kg di legno/$m^2$;

$g_i$ = peso in kg del generico combustibile i;

$H_i$ = potere calorifico superiore del generico combustibile in kcal/kg.

A = superficie, espressa in $m^2$, del locale o comparto del quale si valuta il carico di incendio.

Essendo la durata di resistenza al fuoco effettiva di un ambiente in relazione diretta con il carico incendio ossia con la quantità di materiale combustibile presente sono state individuate, le seguenti sette **classi di resistenza al fuoco** : CLASSI: 15 - 30 - 45 - 60 - 90 - 120 – 180 in cui il numero indicativo di ogni singola classe indica rappresenta sia il carico di incendio virtuale in kg/$m^2$ di legna standard, sia la durata minima di resistenza al fuoco, espressa in minuti primi, da richiedere alla struttura o all'elemento costruttivo. La classe è valutabile con opportune relazioni in cui compare sia il carico incendio calcolato sia dei coefficienti (tabellati e graficati) che tengono conto delle condizioni reali di incendio.

## 2.9 ESTINZIONE DEGLI INCENDI

Per estinzione [19 e 20],[22],[24],[27],[43],{13} si intende il completo e definitivo spegnimento non solo delle fiamme, parte più evidente del fenomeno, ma anche delle braci; si può definire come quello stadio da cui si ha la certezza di non riaccensione dell’incendio anche in assenza di azioni di controllo. Per conseguire lo spegnimento occorre intervenire sui fattori che autosostengono la combustione, sconnettendo il triangolo del fuoco, utilizzato per rappresentare le condizioni che permettono l’innesco, e rompendone almeno uno dei lati. Questa operazione può essere effettuata adottando i seguenti sistemi :

- ✓ Separazione (rimozione del combustibile)

- ✓ Soffocamento (rimozione del comburente)
- ✓ Raffreddamento ( sottrazione di calore)
- ✓ Estinzione chimica o anticatalisi
- ✓ Estinzione meccanica

La **separazione** consiste nell' allontanamento del materiale combustibile dal focolaio dell'incendio; ciò può attuarsi in diversi modi oltre che con la rimozione delle sostanze, attraverso sistemi che intercettano i flussi dei fluidi combustibili (liquidi e gassosi) nelle tubazioni, o diluendo i vapori e gas per portarsi al di fuori del campo di infiammabilità, o trasferendo i combustibili in contenitori sicuri, infine con l'utilizzo di fasce tagliafuoco che schermano e isolano opportunamente. Il **soffocamento** si ottiene o separando il combustibile dal comburente attraverso l'interposizione fra il materiale che brucia e l'aria dei mezzi di separazione in modo che l'ossigeno dell'aria non riesca ad alimentare la combustione (interponendo ad esempio o uno strato di schiuma o di sostanze con grado di reazione al fuoco pari a zero o estinguenti o immettendo acqua nebulizzata) oppure riducendo la concentrazione del comburente in aria e quindi diluendo l'ossigeno presente al di sotto del tenore necessario a sostenere l'incendio (immettendo dei gas inerti o azoto). Il **raffreddamento** consiste nella sottrarre quanto più calore possibile all' incendio stesso attraverso l'uso di agenti estinguenti in modo da abbassare la temperatura al di sotto di quella di accensione necessaria al mantenimento della combustione. L' **estinzione chimica o anticatalitica** consiste nell' impiego di sostanze estinguenti a base di idrocarburi alogenati (fluoro, cloro, bromo, carbonio, iodio) in grado di inibire chimicamente la combustione in quanto decomponendosi, influiscono negativamente sui processi di ossidazione e danno luogo all' arresto delle reazioni a catena estinguendo dunque l'incendio. Infine l' **estinzione meccanica** consiste nello schiacciamento del combustibile con azione

meccanica ottenendo così una suddivisione che incrementa la superficie del materiale da raffreddare. Le operazioni viste possono essere utilizzate o singolarmente o contemporaneamente e impiegando in funzione della natura dei combustibili e delle dimensioni del fuoco opportune sostanze estinguenti.

## 2.10 LE SOSTANZE ESTINGUENTI

Le principali sostanze estinguenti [16e 17],[26],[44 a 46],{14} normalmente utilizzate per combattere gli incendi sono:

- ✓ acqua
- ✓ schiuma
- ✓ polveri chimiche
- ✓ gas inerti
- ✓ idrocarburi alogenati
- ✓ sabbia
- ✓ altri

### 2.10.1 Acqua

L'acqua è l'agente estinguente per eccellenza da sempre utilizzato, ha il pregio di essere il più economico e tuttora insostituibile essendo anche facile da reperire ed utilizzabile in grandi quantitativi. La sua funzione è duplice in quanto serve da un lato a spegnere l'incendio, dall'altro a contenerne l'espansione ed agisce sull'incendio con azione :

- ✓ di **separazione** (formando uno strato impermeabile tra combustibile e aria circostante per cui inibisce la combustione);

- ✓ di **diluizione** (formando vapore acqueo che da un lato diluisce l'ossigeno dell'aria rendendo meno combustibili le sostanze incendiate e dall'altro esercita anche una azione di soffocamento);
- ✓ di **disgregazione** (per effetto dell'energia del getto impedisce il contatto tra combustibile che brucia e quello non ancora bruciato);
- ✓ di **raffreddamento** (sottraendo calore fino a temperatura al di sotto di quella di accensione e di quella occorrente al mantenimento del processo di pirolisi che alimenta le fiamme).

L'acqua è indicata per sostanze solide, sostanze infiammabili più pesanti dell'acqua o più leggere e miscibili con essa ma non deve essere impiegata allorquando gli incendi coinvolgono :

- ✓ conduttori in tensione sia perché essendo conduttrice può causare pericoli di elettrocuzione ma anche per il pericolo di ponti elettrici dannosi per le apparecchiature a meno che non sia finemente nebulizzata;
- ✓ sostanze che a contatto con essa rilasciano gas tossici e corrosivi;
- ✓ sostanze che reagiscono in modo violento e pericoloso a contatto con essa sviluppando sostanze infiammabili ad esempio come il sodio e potassio che liberano idrogeno, il carburo di calcio che sviluppa acetilene oppure carburi, magnesio zinco e alluminio ad alte temperature;
- ✓ materiali fondenti come l'acciaio ad elevata temperatura che possono proiettare a distanza materiale caldissimo;
- ✓ materiali e apparecchiature di valore che potrebbero danneggiarsi:
- ✓ liquidi a basso punto di infiammabilità e più leggeri dell' acqua posti in contenitori aperti che traboccherebbero per l'affondamento dell' acqua stessa.

Se nebulizzata (sistemi water mist), cioè finemente suddivisa in minutissime goccioline per effetto dell'alta pressione offre rendimenti

superiori ai getti pieni e consente di operare sia in vicinanza di componenti elettrici sotto tensione che su alcuni liquidi infiammabili. Con l’aggiunta di additivi solubili che migliorano le capacità bagnanti si può migliorare la sua capacità penetrativa e l’efficacia di estinzione su incendi di classe A e B1 mentre con alcuni prodotti ritardanti se ne possono prolungare gli effetti impedendo e ritardando l’ignizione.

### 2.10.2 Schiuma

Poiché l’acqua non estingue gli incendi di liquidi infiammabili aventi peso specifico inferiore si è pensato di alleggerire l’acqua miscelandola con dei composti che formino bolle d’aria o altro gas ottenendo la cosiddetta schiuma antincendio che è quindi un emulsione di aria con una soluzione acquosa di schiumogeni. Per la produzione occorre prima miscelare acqua con un liquido schiumogeno, che costituiscono la soluzione schiumogena, e successivamente miscelare quest’ultima con aria. Solitamente si individuano due tipi fondamentali di schiume :

- ✓ **chimiche** formate dall’anidride carbonica sviluppata dalle reazioni chimiche di sali alcalini in soluzione ed acidi e in presenza di appropriati agenti schiumogeni;
- ✓ **meccaniche** formate dall' inglobazione meccanica di aria in una soluzione schiumogena.

Si definisce **rapporto di espansione *RE*** il rapporto tra il volume di schiuma prodotta e quello della soluzione schiumogena di partenza ossia i litri di schiuma ottenuti da un litro di schiumogeno ed in base a questo si suole suddividere le schiume in :

- ✓ **schiume a bassa espansione** con $1<RE<20$ adatte per incendi di liquidi infiammabili e anche per materiali solidi agiscono formando una coltre sui materiali incendiati; vengono suddivise in

classi a seconda del tempo di estinzione e livelli a seconda della resistenza alla riaccensione:

- ✓ **schiume a media espansione** con 20<RE>200 usate per grandi superfici all'aperto o locali;
- ✓ **schiume ad alta espansione** con RE>200 usate per ambienti di grandi volumi in cui non è possibile accedere a causa del fumo e dell' atmosfera irrespirabile e rovente e per essere efficaci devono riempire tutto il volume.

In base alla composizione chimica gli schiumogeni si distinguono in :

- ✓ **proteinici** derivati da materiali proteinici idrolizzati combinati con stabilizzanti della schiuma e additivi utilizzati in soluzione acquosa al 3-6% essenzialmente su incendi di prodotti petroliferi (idrocarburi);
- ✓ **fluoro proteinici** ottenuti da soluzioni a base proteinica con l'aggiunta di tensioattivi fluorurati, utilizzati per incendi di idrocarburi, la schiuma ottenuta è più scorrevole della proteinica ed è autosigillante, tende cioè a ricomporre la coltre formata nelle zone dove viene rotta;
- ✓ **sintetici** formati da miscela di tensioattivi sintetici solubili in acqua, derivati da idrocarburi, con eventuali stabilizzanti addizionali utilizzati in soluzione acquosa al 3-6% sono in grado di produrre in tempi brevi grandi volumi con piccole quantità di acqua ma sono sensibili alle correnti di aria per cui adatti nel sottosuolo;
- ✓ **filmanti** formati da miscela di tensioattivi a base idrocarburica, o proteinica e tensioattivi fluorurati, sono denominati AFFF (aqueous film forming foam)*;* sono impiegati per la formazione di schiuma a bassa e media espansione, in grado di formare una pellicola continua acquosa sulla superficie degli idrocarburi che

tende a ricomporsi se lacerata autocicatrizzando le proprie lacerazioni impedendo il rilascio di vapori dalle superfici ricoperte e impedendo le riaccensioni abbattute le fiamme;

- ✓ **solventi polari** o alcoli resistenti composti da liquido proteinico che grazie a particolari additivi formano bolle resistenti ai solventi polari (alcoli, eteri, acetone).

Le schiume una volta formate e versate sulle superfici incendiate formano una coltre continua, grazie alle forze di attrazione si esercitano tra le pellicole delle bolle, che isola le sostanze combustibili rispetto all'ossigeno dell'aria, raffredda le superfici, soffoca le fiamme, satura cavità piene d'aria, protegge e coibenta i materiali, impedisce evaporazioni di liquidi ed infine estingue.
In definitiva la schiuma è indicata per incendi di liquidi infiammabili e controindicata per conduttori elettrici in tensione, per incendi di classe C (gas), per prodotti che reagiscono violentemente e in maniera pericolosa con l'acqua (carburo di calcio che sviluppa acetilene, sodio e potassio che producono idrogeno, magnesio, zinco ed alluminio ad elevata temperatura che sviluppano gas infiammabili).

### 2.10.3 Polveri chimiche

Le polveri estinguenti sono miscele di particelle solide finemente suddivise costituite da sali organici, da sostanze naturali o da sostanze sintetiche che possono essere proiettate, mediante l'uso di gas propellenti in pressione e attraverso appositi erogatori sulle fiamme.
L'azione di spegnimento avviene :

- ✓ per **separazione** del combustibile dall'aria per formazione di una coltre che soffoca la combustione;

- ✓ per **diluizione** della percentuale di ossigeno dell’aria a causa della diffusione dei grani di polvere e dell’anidride carbonica prodotta a contatto con le fiamme;
- ✓ per **raffreddamento** del combustibile a causa dell’assorbimento seppur modesto da parte della polvere del calore della reazione;
- ✓ per **catalisi negativa** delle singole reazioni poiché a causa della formazione di alcuni prodotti intermedi, come i radicali liberi, si determina il rallentamento e l’arresto della reazione di combustione.

Le polveri più usate sono a base di bicarbonato di sodio $NAHCO_3$ cui vengono aggiunti agglomeranti e sostanze favorenti la fluidità nel tempo e consentono lo spegnimento dei liquidi infiammabili e di gas, possono essere impiegate su apparecchiature elettriche sotto tensione ma non sono efficaci sugli incendi di materiali solidi non essendo in grado di eliminare le braci incandescenti e raffreddare a sufficienza per cui esaurita la polvere l’incendio può riprendere facilmente. Altri tipi di poveri dette polivalenti o universali vengono utilizzate per incendi di classe A (solidi) mentre quelle dette speciali sono destinate a usi specifici.

### 2.10.4 Gas inerti :

*1) Anidride carbonica*

L’anidride carbonica è un gas inerte, incombustibile e incomburente, perfettamente dielettrico, pesante 1,53 volte più dell’ aria, conservato in serbatoi sotto pressione e allo stato liquido essendo facilmente liquefattibile alle temperature ordinarie con pressioni di 50 bar, non tossico, ha il pregio di estinguere gli incendi senza lasciare residui sui materiali investiti né operare danneggiamenti ma diventa pericoloso in luoghi chiusi senza le adeguate precauzioni, essendo asfissiante in quanto riduce il contenuto di ossigeno, per cui prima dell’ immissione

nell'ambiente interessato dall'incendio è necessario l'esodo delle persone. I recipienti devono essere resistenti alle alte pressioni e provati ad almeno 250 bar in quanto come per tutti i gas la pressione che esercita cresce con la temperatura (ed infatti mentre a 20 °C la pressione è di 50 bar, a 40 °C è già di 140 bar) per cui i recipienti sono molto pesanti e devono essere muniti di dispositivi di sicurezza contro pericolose sovrapressioni e proteggerli dalla corrosione che può provocare se contiene tracce di acqua. Il dispositivo terminale degli erogatori di $CO_2$ è costituito solitamente da un tromboncino, di materiale non metallico, conico per favorire l'erogazione, la formazione di neve carbonica e l'avvicinamento al focolaio di incendio con buona visibilità. Conservata quindi liquida ha la caratteristica, non appena posta in contatto con l'aria, di passare allo stato di vapore, per i due terzi, espandendosi di circa 350 volte, penetrando nelle cavità ed esplicando azione soffocante e di raffreddamento, mentre il terzo restante solidifica e diffonde nell'aria sotto forma di minutissime particelle (fiocchi bianchi), detti *neve carbonica* (-57°C), che assume poi forma compatta e dura raffreddandosi ulteriormente (ghiaccio secco –79 °C). Può essere usato in qualsiasi tipo di incendio (fuochi di classe A,B,C) compreso quello di apparecchiature elettriche sotto tensione, ma non spegne la brace e fuochi di classe D, non è utilizzabile su apparecchiature sensibili a bruschi raffreddamenti, con idruri metallici, con prodotti contenenti l'ossigeno necessario per la combustione, o in presenza di cianuri alcalini (dando luogo con questo ad acido cianidrico, un gas molto tossico) ed è poco efficace in luoghi aperti. L'azione estinguente avviene per :

- ✓ **soffocamento** : in quanto essendo più pesante dell'aria tende ad avvolgere i materiali ostacolando la combustione;

- ✓ **raffreddamento :** in quanto l'espansione in fase di scarica, provoca un brusco abbassamento della temperatura per effetto del passaggio da liquido a gas;
- ✓ **diluizione :** riducendo la concentrazione d'ossigeno nell'aria al di sotto del limite di mantenimento della combustione;
- ✓ **inibizione :** per effetto delle particelle solide di neve carbonica e di ghiaccio secco che agiscono così come le polveri inibendo la combustione.

*2) Argon*

L'argon è un gas inerte, incolore, inodore, non tossico, dielettrico, ecologico, ad impatto ambientale nullo, non da luogo a residui e corrosione che agisce per riduzione della concentrazione di ossigeno e viene utilizzato per incendi di materiali liquidi, solidi ed elettrici ed elettronici in particolare.

*3) Azoto*

Anch' esso un gas inerte, inodore ed ecologico non avendo effetti sulla distruzione dell'ozono atmosferico, dielettrico, non lascia residui, non danneggia i materiali, non dannoso per le persone, agisce diluendo l'ossigeno così da far cessare la combustione e portando al di fuori dei limiti di infiammabilità e viene usato per lo spegnimento di materiali solidi,liquidi ed elettrici.

### 2.10.5 Idrocarburi alogenati

Si definiscono idrocarburi alogenati o alocarburi o halon derivati fluorurati, clorurati, bromurati e iodurati di idrocarburi saturi (in cui gli atomi di idrogeno sono stati sostituiti parzialmente o totalmente con atomi di cloro, bromo o fluoro e iodio). Questi composti hanno eccellenti

proprietà estinguenti, consentono la riutilizzazione degli oggetti dopo l'estinzione, non sono corrosivi, si conservano allo stato liquido e sono facilmente vaporizzabili, richiedono piccole quantità per estinguere ed agiscono per inibizione delle reazioni a catena della combustione. I più noti sono il bromotrifluorometano $CBrF_3$ o Halon 1301 (i numeri della sigla dell' halon indicano nell'ordine il numero di atomi di carbonio, fluoro, cloro, bromo e iodio contenuti nella molecola) o BTM, il bromoclorodifluorometano $CBrF_2Cl$ o Halon 1211 o BCF, il dbromotetrafluoroetano $C_2Br_2F_4$ o Halon 2402 o fluorbrene. In realtà poiché a tali sostanze è stata attribuita la responsabilità del progressivo deterioramento della fascia di ozono che preserva la terra dalle radiazioni solari con la legge n°549 del 28/12/1993 modificata dal D.L. 10 /02/1996 e dalla legge n°179 del 16/06/1997 sono state emanate norme per la dismissione, il recupero, il riciclo, la rigenerazione e la distruzione degli halon. Successivamente con il D.M. del 3/10/2001 è stato vietato l'uso degli halon tranne che in alcuni casi come negli aerei, imbarcazioni e mezzi militari e piattaforme petrolifere. Per effetto di queste disposizioni si è reso necessario sostituirli negli impianti già in uso, con altri agenti estinguenti che sebbene più costosi non si sono rivelati altrettanto efficaci e che possono essere raggruppati nella famiglia dei "**Clean Agent**" [44] che non rilasciano alcun tipo di residuo, divisi un due categorie : gli *halocarbon* costituiti da singoli idrocarburi alogenati o da miscele di questi utilizzati allo stato di gas liquefatti e *gas inerti* compressi. Il processo di estinzione dei Clean Agents si basa su tre meccanismi che evitano l' autosostentamento degli incendi :

- ✓ **fisico** con la diluizione dell'ossigeno e conseguente riduzione della produzione di calore e soffocamento della fiamma;

- ✓ **chimico** con la decomposizione dell'agente estinguente in presenza di elevato calore e formazione di radicali liberi che catturano ossigeno e bloccano la reazione di combustione;
- ✓ **chimico-fisico** con incremento della capacità termica dell' ambiente e quindi della quantità di energia necessaria per innalzare la temperatura dell'aria comburente a quella delle fiamme.

A differenza degli halocarbons che utilizzano tutti e tre i meccanismi, i gas inerti non utilizzano il meccanismo prettamente chimico per cui riducono la concentrazione di ossigeno e incrementano la capacità termica dell'aria. Possono essere o a *saturazione totale* cioè basati sulla scarica dell'agente in tutto il volume oppure ad *applicazione localizzata* anche se questi sono trascurati a livello tecnologico. Sono adatti per apparecchiature elettriche, incendi di classe B e A con combustione superficiale mentre mal si prestano al controllo di incendi di classe A con formazione di brace.

### 2.10.6 Altri

Infine esistono anche alcuni sistemi innovativi ancora non adeguatamente normati :

- ✓ i **sistemi aerosol** che utilizzano una sospensione fine di particelle aventi la consistenza di una sottilissima polvere che inibisce chimicamente la combustione;
- ✓ i **sistemi a riduzione del tasso di ossigeno** che si basano sul principio della riduzione dell'ossigeno nell'aria basandosi sul principio che la combustione risulta impossibile in presenza di concentrazioni di ossigeno inferiore al 15%.

# Capitolo 3
# La prevenzione incendi degli autobus

## 3.1 FONDAMENTI DI PREVENZIONE INCENDI

La **sicurezza antincendio** ha come obiettivi fondamentali la salvaguardia dell'incolumità delle persone e la tutela dei beni e dell'ambiente, mediante il conseguimento, attraverso misure tecniche ed organizzative, dei seguenti obiettivi primari :

- ✓ la riduzione al minimo delle occasioni di incendio;
- ✓ la stabilità delle strutture portanti per un tempo utile ad assicurare il soccorso agli occupanti;
- ✓ la limitata produzione di fuoco e fumi all'interno delle opere e la limitata propagazione del fuoco alle opere vicine:
- ✓ la possibilità che gli occupanti lascino l'opera indenni o che gli stessi siano soccorsi in altro modo;
- ✓ la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

La sicurezza contro il fuoco ha sollecitato lo sviluppo di molti standard specifici, nazionali ed internazionali, indirizzati praticamente ad ogni campo (materiali, norme costruttive, ecc.), tuttavia essa non può essere limitata ad una lista di standard o ad un insieme di formule e procedure: un concetto di sicurezza in termini globali, su misura dello specifico rischio e delle condizioni esistenti può essere, tra le altre cose, l'individuazione degli obiettivi e la determinazione dei livelli di rischio accettabili.

A tal fine la legge 577 del 29/07/1982 definisce con il termine **Prevenzione Incendi** quella materia che studia tutti i provvedimenti atti a prevenire, segnalare ed estinguere un incendio o ridurne la propagazione, compresi quelli per la salvaguardia delle persone, la preservazione dei beni e la tutela dell'ambiente [15 e 16],[39],{15}. L'articolo 3 della predetta legge stabilisce invece i criteri di prevenzione, stabilendo che le norme debbono specificare :

- ✓ misure, accorgimenti, provvedimenti intesi a ridurre la probabilità dell'insorgere dell'incendio quali dispositivi, sistemi, procedure di svolgimento di determinate operazioni atte ad influire sulle sorgenti di ignizione, sul materiale combustibile o sull' agente ossidante;
- ✓ misure, provvedimenti ed accorgimenti operativi atti a limitare le conseguenze dell'incendio quali sistemi, dispositivi e caratteristiche costruttive, sistemi per le vie di esodo di emergenza, impianti compartimentazioni e simili;
- ✓ misure antincendio predisposte a cura dei titolari di attività aventi notevoli livelli di rischi.

Si intuisce che i provvedimenti sono innumerevoli e si possono suddividere, a seconda dello scopo che si prefiggono in due specie : la **prevenzione propriamente detta** che mira a ridurre la probabilità dell'insorgere dell'incendio e la **protezione** che mira a ridurre i danni una volta che l'incendio si sia manifestato. Alcuni autori definiscono {16},[47], anche una *prevenzione primaria*, che tratta i problemi concernenti la salvaguardia della vita umana e una *prevenzione secondaria* che tratta i problemi della sicurezza e contenimento danni al fine di un ottimizzazione degli investimenti nei sistemi di protezione. In un problema di prevenzione incendi, in fase di progetto non è possibile ovviamente adottare tutti i provvedimenti anche perché alcuni possono

essere non necessari o perché sostituiti da altre precauzioni compensative, ma bisogna ragionare in termini di rischio.

## 3.2 IL RISCHIO INCENDIO

Il **rischio** di ogni evento incidentale (l'incendio nel nostro caso) definito dal **D.M. del 10/03/98** come la probabilità che sia raggiunto il livello potenziale di accadimento di un incendio e che si verifichino conseguenze dell'incendio sulle persone presenti, risulta individuato, attraverso un modello matematico, da due fattori:

- ✓ La *frequenza* con cui si verifica l'incendio ipotizzato, cioè la probabilità che l'evento si verifichi in un determinato intervallo di tempo (numero di accadimenti nel tempo n/t).
- ✓ La *magnitudo*, cioè l'entità delle possibili perdite e dei danni conseguenti al verificarsi dell'evento.

da cui ne deriva la definizione di rischio **R** = F x M cioè Rischio = Frequenza x Magnitudo. Il rischio (possibilità di danni a persone e cose) è rappresentabile graficamente [24],{17},[49 a 51] attraverso una curva nel piano cartesiano avente in ascissa la frequenza e in ordinata la magnitudo e vista la natura probabilistica, è impossibile da annullare essendo il rischio zero solo ipotetico risulta quindi sempre maggiore di zero ed anche perché raggiungere valori molto bassi (agendo su alcuni fattori come gli elementi combustibili in primo luogo) significherebbe sopportare un notevole impegno economico o imporre delle limitazioni di esercizio praticamente inattuabili, per cui ne deriva che c'è sempre una parte di rischio non coperta che si definisce *margine di rischio residuo*. I provvedimenti minimi da adottare al fine di ridurre entro limiti accettabili il rischio d'incendio dovrebbero essere stabiliti da apposite norme ed in mancanza di queste occorrerà eseguire un accurato studio per la

valutazione dei possibili rischi e per stabilire i necessari provvedimenti cautelativi di prevenzione incendi. Tali provvedimenti, da adottare sempre in prospettiva non irragionevolmente pessimistica ma sensata e responsabile, che contemperi le finalità della prevenzione incendi con le esigenze funzionali e costruttive del veicolo, non potranno comunque garantire in modo assoluto il non verificarsi dell'incendio e in circostanze eccezionali e fortunatamente rare, che possano crearsi situazioni di pericolo provocate dal fuoco per l'incolumità delle persone e delle cose.

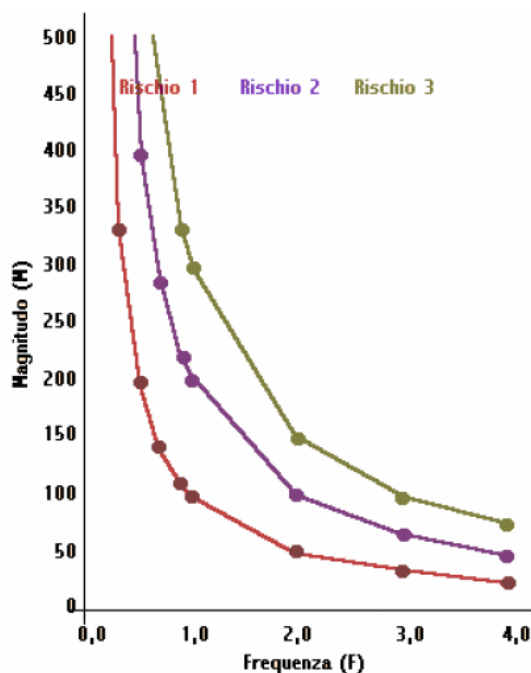



**Figura 21 :** ***Grafico del rischio***

Ogni punto appartenente ad ogni  singola curva ha lo stesso valore di rischio, ne deriva che esiste una classe di parametri a "rischio equivalente" o in altri termini esiste una classe di parametri che associano all' attività un grado di "sicurezza equivalente"; variando in modo decrescente entrambi i parametri del  rischio, o almeno uno di essi, si perviene ad una classe di rischio inferiore con la conseguente "mitigazione" del rischio (strutture resistenti al fuoco, impianti di spegnimento e rilevazione); variando in modo crescente entrambi i

parametri del rischio, o almeno uno di essi, si perviene ad una classe di rischio superiore con la conseguente “alterazione” del rischio (strutture non resistenti al fuoco, ambienti privi di impianti di spegnimento e di rilevazione, mancata applicazione di una prescrizione tecnica rivolta alla sicurezza). Il rischio viene suddiviso dal **D.M.** del **10 /03/98**, a seconda che nell’ambiente o attività, in tre livelli :

- ✓ **basso** : se sono presenti sostanze non infiammabili, vi sono scarse possibilità di principi di incendio e nel caso di incendio vi è scarsa probabilità di propagazione;
- ✓ **medio** : se sono presenti sostanze infiammabili, sono presenti le condizioni che possono favorire gli incendi ma vi è limitata probabilità di propagazione degli stessi;
- ✓ **elevato** : se sono presenti sostanze altamente infiammabili, vi sono grandi probabilità di sviluppo di incendi e di propagazione.

Lo scopo che ci si pone è di ridurre il rischio incendio a un valore accettabile, riducendo quindi la probabilità di insorgenza dell’incidente oppure che si verifichino i minori danni possibili attraverso l’adozione di misure preventive e protettive. Dalla formula del rischio (d'incendio) appare evidente che quanto più si riducono la frequenza o la magnitudo, o entrambe, tanto più si ridurrà il rischio. Attraverso un analisi del rischio ci si propone quindi come obiettivo generale di abbattere la curva del rischio al di sotto del rischio accettabile, per fare questo bisogna individuare il livello del rischio, associato ai pericoli di situazioni identificate, attraverso valutazioni che possono essere sia di tipo qualitativo che quantitativo o semiquantitativo. Ad esempio si potrebbe attribuire alla probabilità di accadimento un valore da 1 a 4 secondo la seguente tabella a seconda del livello di sorpresa che l’evento provocherebbe :

**Tabella 18 :** ***Scala graduata semiquantitativa della probabilità di accadimento***

| Valore | Livello |
|---|---|
| 4 | Altamente probabile |
| 3 | Probabile |
| 2 | Poco probabile |
| 1 | Improbabile |

e alla gravità del danno un valore da 1 a 4 a seconda della reversibilità o meno del danno secondo la seguente tabella :

**Tabella 19 :** ***Scala graduata semiquantitativa della gravità del danno***

| Valore | Livello |
|---|---|
| 4 | Gravissimo |
| 3 | Grave |
| 2 | Medio |
| 1 | Lieve |

Dopodiché moltiplicando tra loro i due valori si ottiene un indice di Priorità arbitrario variabile da 1 a 16 che aiuta a identificare la necessità e l'urgenza di adottare eventuali provvedimenti atti a rimuovere e/o attenuare il rischio incendio :

**Tabella 20 :** ***Matrice di valutazione del rischio***

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 | 8 | 12 | 16 |
| 3 | 6 | 9 | 12 |
| 2 | 4 | 6 | 8 |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

Pertanto a seconda del valore del rischio ottenuto si attueranno delle azioni correttive da programmare nella maniera seguente :

- ✓ R = 1 con minore urgenza;
- ✓ 2<R<3 a breve – medio termine;
- ✓ 4<R<8 con urgenza;
- ✓ R>8 indilazionabili.

Nel diagramma che segue è stata graficamente rappresentata la possibilità di controllare e gestire un rischio di incendio inaccettabile attraverso l'adozione di misure di tipo Preventivo o di tipo Protettivo.

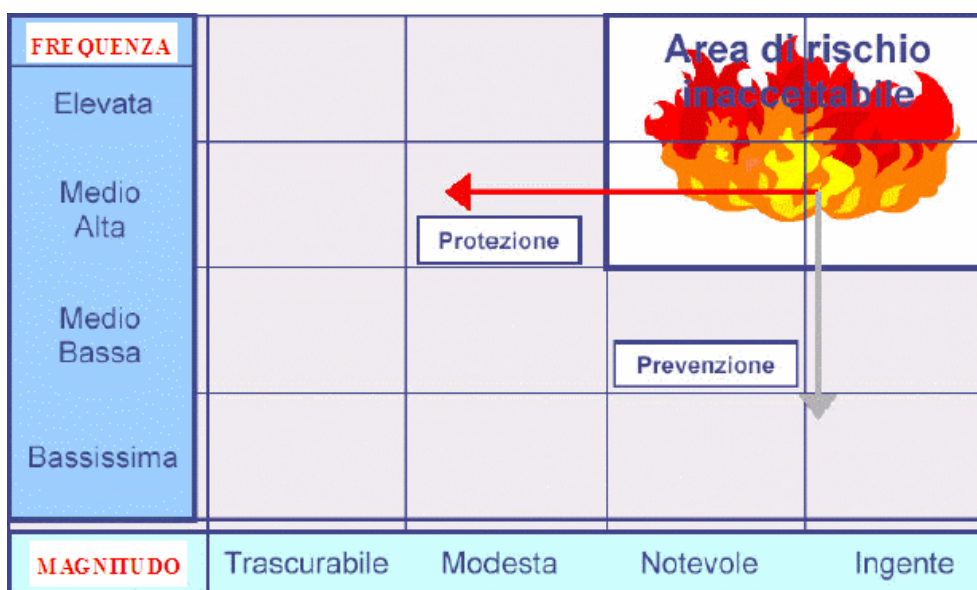



**Figura 22 :** ***Controllo e gestione del rischio***

L'attuazione di tutte le misure per ridurre il rischio mediante la riduzione della sola frequenza (probabilità dell'insorgere dell'incendio) e quindi tese ad evitare che l' incendio possa insorgere viene comunemente chiamata "**prevenzione**" e determinano traslazioni verso il basso della curva del rischio, mentre l'attuazione di tutte le misure mediante la riduzione della sola magnitudo (del danno) e quindi tese a ridurre le conseguenze dannose dell'incendio viene, invece, chiamata "**protezione**" che determina una traslazione della curva del rischio a sinistra. Nel primo caso per ridurre la probabilità bisogna individuare i fattori di rischio per persone o cose, valutarne il livello di rischio ed eliminarne le cause e in primis eliminando le sorgenti di ignizione, si tratta quindi di quelle azioni

o divieti da osservare onde scongiurare una combustione allo stato potenziale; nel secondo caso, una volta verificatosi l'evento, al fine di contenere entro i limiti le energie liberate dall'incendio, bisogna modificare le condizioni di propagazione dell'onda di combustione creando difficoltà nella combustione, rilevando inoltre l'incendio nel minor tempo possibile per agire prima del flashover consentendo l'evacuazione delle persone. In particolare le misure di Protezione Antincendio possono essere di tipo ***ATTIVO*** o ***PASSIVO***, a seconda che richiedano o meno un intervento di un operatore o di un impianto per essere attivate. Ovviamente le azioni Preventive e Protettive non devono essere considerate alternative ma complementari tra loro nel senso che, concorrendo esse al medesimo fine, devono essere intraprese entrambe proprio al fine di ottenere risultati ottimali. Infine gli obiettivi della Prevenzione Incendi devono essere ricercati anche con Misure di esercizio in quanto il miglior progetto di sicurezza può essere vanificato da chi lavora nell'ambiente, se non vengono applicate e tenute nella giusta considerazione le **Misure precauzionali di esercizio** per cui nella seguente figura segue una schematizzazione di quanto detto finora.

**Figura 23 :** ***La Prevenzione incendi***

## 3.3 LA PREVENZIONE PROPRIAMENTE DETTA

Le principali misure di prevenzione incendi [20],[39],{15},[52], finalizzate alla riduzione della probabilità di accadimento di un incendio, possono essere individuate in:

- ✓ **Realizzazione di impianti elettrici a regola d'arte** ( Norme CEI ) : gli incendi dovuti a cause elettriche ammontano a circa il 30% della totalità di tali sinistri. Pertanto appare evidente la grande importanza che deve essere data a questa misura di prevenzione che, mirando alla realizzazione di impianti elettrici a regola d'arte, consegue lo scopo di ridurre drasticamente le probabilità d'incendio, evitando che l'impianto elettrico costituisca causa d'innesco. Numerosissima è la casistica delle anomalie degli impianti elettrici le quali possono causare principi d'incendio: corti circuiti, conduttori flessibili danneggiati, contatti lenti, surriscaldamenti dei cavi o dei motori, guaine discontinue, mancanza di protezioni, sottodimensionamento degli impianti, apparecchiature di regolazione mal funzionanti ecc.
- ✓ **Collegamento elettrico a terra di impianti** : la messa a terra di impianti ed altre strutture impedisce che su tali apparecchiature possa verificarsi l'accumulo di cariche elettrostatiche prodottesi per motivi di svariata natura (strofinio, correnti vaganti ecc.). La mancata dissipazione di tali cariche potrebbe causare il verificarsi di scariche elettriche anche di notevole energia le quali potrebbero costituire innesco di eventuali incendi specie in quegli ambienti in cui esiste la possibilità di formazione di miscele di gas o vapori infiammabili.
- ✓ **Dispositivi di sicurezza degli impianti di distribuzione e di utilizzazione delle sostanze infiammabili** : al fine di prevenire

un incendio gli impianti di distribuzione di sostanze infiammabili vengono dotati di dispositivi di sicurezza di vario genere quali ad esempio: termostati, pressostati, interruttori di massimo livello, termocoppie, dispositivi di allarme, sistemi di saturazione (immissione dell'aria dal fondo dei serbatoi che successivamente gorgoglia attraverso il liquido così da saturarsi di vapori) e sistemi di inertizzazione (introduzione al di sopra del pelo libero del liquido infiammabile, anziché di aria, di un gas inerte che impediscano la formazione di miscele infiammabili vapori-aria, etc.

- ✓ **Ventilazione dell' ambiente** : la ventilazione naturale o artificiale di un ambiente dove possono accumularsi gas o vapori infiammabili evita che in esso possano verificarsi concentrazioni al di sopra del limite inferiore del campo d'infiammabilità. Naturalmente nel dimensionare e posizionare le aperture o gli impianti di ventilazione è necessario tenere conto sia della quantità che della densità dei gas o vapori infiammabili che possono essere presenti.
- ✓ **Riduzione del carico incendio** attraverso l' utilizzazione di materiali incombustibili e più difficilmente infiammabili : quanto più é ridotta la quantità di strutture o materiali combustibili presente in un ambiente tanto minori sono le probabilità che possa verificarsi un incendio. Pertanto potendo scegliere tra l'uso di diversi materiali dovrà sicuramente essere data la preferenza a quelli che, pur garantendo analoghi risultati dal punto di vista della funzionalità e del processo produttivo, presentino caratteristiche di incombustibilitá.

- ✓ **Adozione di elementi antiscintilla** : tali provvedimenti risultano di indispensabile adozione qualora nell' ambiente sia prevista la presenza di gas, polveri o vapori infiammabili.
- ✓ **Segnaletica di sicurezza**.

## 3.4 LE MISURE PRECAUZIONALI DI ESERCIZIO

L'obiettivo principale dell'adozione di misure precauzionali di esercizio [40] è quello di permettere, attraverso una corretta gestione, di non aumentare il livello di rischio reso a sua volta accettabile attraverso misure di prevenzione e di protezione. Le misure precauzionali di esercizio si realizzano attraverso:

- ✓ **Analisi delle cause di incendio più comuni :** Molti incendi possono essere prevenuti richiamando l'attenzione del personale sulle cause e sui pericoli di incendio più comuni.
- ✓ **Informazione e Formazione antincendi** : è fondamentale che i lavoratori conoscano come prevenire un incendio e le azioni da attuare a seguito di un incendio. E' obbligo del datore di lavoro fornire al personale una adeguata informazione e formazione al riguardo dei rischi di incendio legati all'attività svolta, le misure di prevenzione e di protezione incendi adottate (ubicazione estintori e vie di uscita, modalità di aperture porte in caso di emergenza) e le procedure da adottare in caso di incendio (azioni da attuare quando si scopre un incendio o quando si sente un allarme, come azionare l' allarme, procedure di evacuazione, modalità di chiamata dei vigili del fuoco). In particolare gli addetti alla manutenzione e gli autisti, essendo i più esposti ai rischi incendi devono ricevere all'atto dell'assunzione, una specifica formazione

antincendio così da essere aggiornati sulle misure di sicurezza, azioni da adottare e procedure di evacuazione, partecipando anche ad esercitazioni antincendio da effettuare almeno una volta l'anno per mettere in pratica le procedure di esodo e di primo intervento. Successive esercitazioni andranno messe in atto non appena si rilevino serie carenze o per effetto di una modifica nel rischio incendio come ad ex per l'utilizzo di autobus diversamente alimentati in seguito ad ammodernamento del parco veicoli.

- ✓ **Controlli degli ambienti di lavoro e delle attrezzature** : è opportuno che vengano effettuati, da parte di incaricati regolari verifiche (con cadenza predeterminata) degli autobus finalizzati ad accertare il mantenimento delle misure di sicurezza antincendio, per cui si effettuerà un' operazione di "*Sorveglianza"* consistente in un controllo visivo, che può essere effettuato dal personale normalmente presente dopo aver ricevuto adeguate istruzioni, atto a verificare che le attrezzature e gli impianti antincendio siano nelle normali condizioni operative, siano facilmente accessibili e non presentino danni materiali accertabili tramite esame visivo e in un "*Controllo periodico"* consistente in un insieme di operazioni da effettuarsi con frequenza almeno semestrale, per verificare la completa e corretta funzionalità delle attrezzature e degli impianti.
- ✓ **Manutenzione ordinaria e straordinaria** : scopo dell'attività di controllo e manutenzione, che deve essere eseguita da personale competente e qualificato, deve essere quello di rilevare e rimuovere qualunque causa, deficienza, danno od impedimento che possa pregiudicare il corretto funzionamento ed uso del veicolo o dei presidi antincendio per cui devono essere oggetto di regolari verifiche: gli impianti per l'estinzione e per la rilevazione e l'allarme degli incendi, gli impianti elettrici, gli impianti a rischio

specifico, lo stato delle tubazioni dei fluidi combustibili e l'integrità delle coibentazioni degli elementi soggetti ad elevate temperature. La manutenzione dovrà essere sia di tipo "*ordinaria*" che si attua quindi in loco, con strumenti ed attrezzi di uso corrente, limitandosi a riparazioni di lieve entità che necessitano unicamente di minutorie e comporta l'impiego di materiali di consumo di uso corrente o la sostituzione di parti di modesto valore espressamente previste o "str*aordinaria*" che quindi non può essere eseguita in loco o che, pur essendo eseguita in loco, richiede mezzi di particolare importanza oppure attrezzature o strumentazioni particolari o che comporti sostituzioni di intere parti di impianto o la completa revisione o sostituzione di apparecchi per i quali non sia possibile o conveniente la riparazione.

Nella figura seguente si riporta un o schema complessivo delle misure di Prevenzione Antincendio :

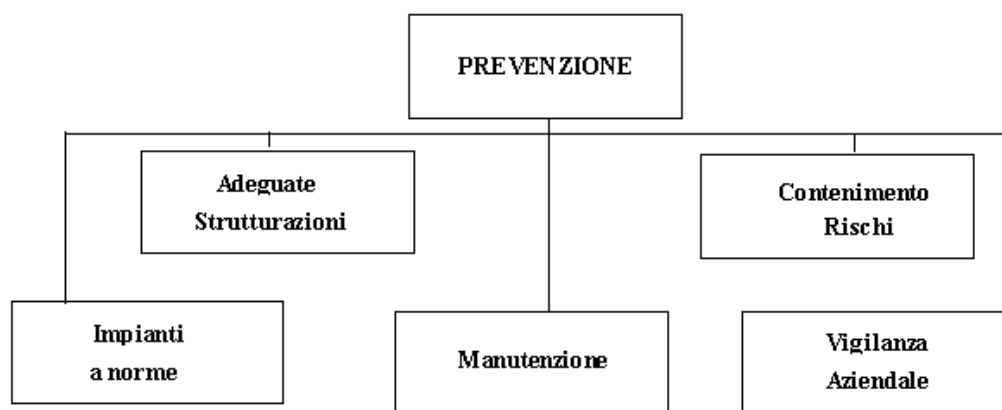



**Figura 24 :** ***La prevenzione Antincendio***

## 3.5 LA PROTEZIONE ANTINCENDIO

La protezione antincendio consiste nell'insieme delle misure finalizzate alla riduzione dei danni conseguenti al verificarsi di un incendio, agendo quindi sulla Magnitudo dell'evento incendio, attraverso un controllo e contenimento della propagazione e una limitazione delle energie prodotte nello spazio e nel tempo [40],[52]. Gli interventi si suddividono in misure di protezione attiva o passiva in relazione alla necessità o meno dell' intervento di un operatore o dell'azionamento di un impianto.

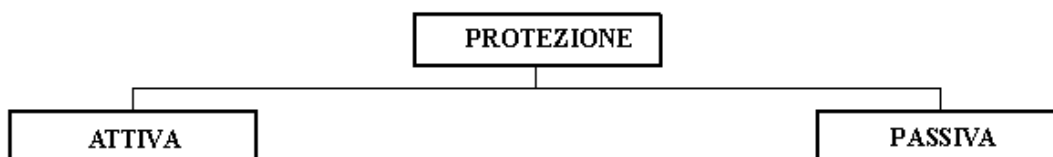



**Figura 25 :** ***La Protezione incendi***

## 3.6 LA PROTEZIONE ATTIVA

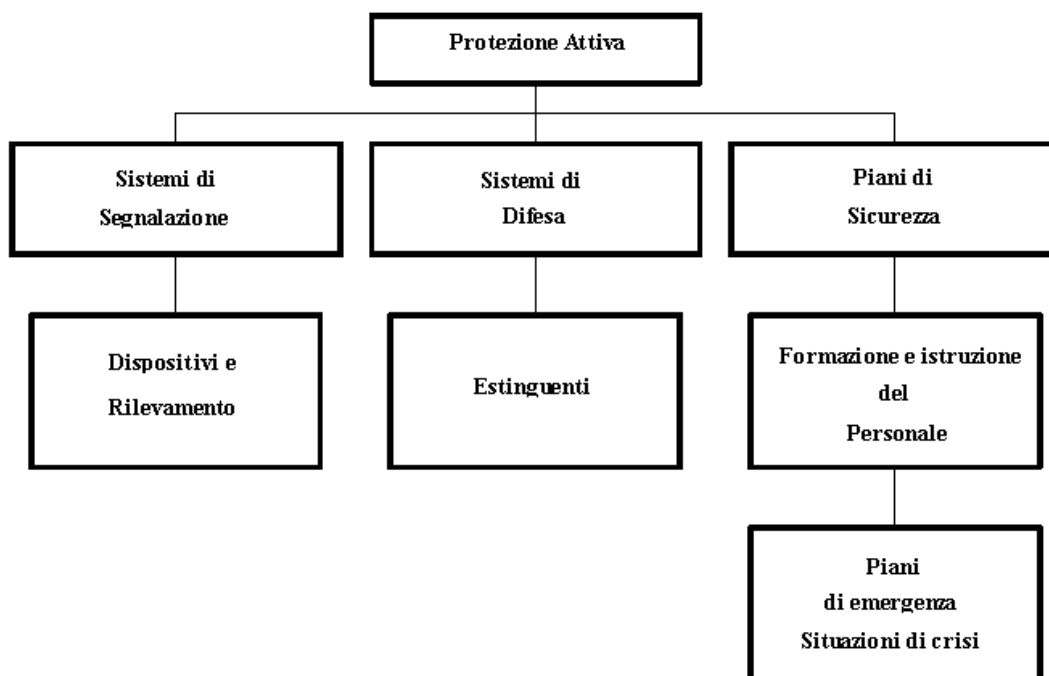



**Figura 26 :** ***La Protezione Attiva***

La **protezione attiva** [20],[39],{15 e 16},[53], è l' insieme delle misure di protezione che anche se previste in sede di progettazione, agiscono a incidente avvenuto e richiedono l'azione di un uomo o l'azionamento di un impianto, sono finalizzate alla precoce rilevazione dell'incendio, alla segnalazione e all'azione di spegnimento dello stesso e si consegue attraverso : estintori, impianti di rivelazione automatica d'incendio, impianti di spegnimento automatici, dispositivi di segnalazione e d'allarme ed evacuatori di fumo e calore, sistemi di alimentazione elettrica di emergenza, sistemi di illuminazione di sicurezza, formazione e addestramento del personale. Va inoltre considerata la circolare n° 4 del 1/3/2002 del Dipartimento dei Vigili del Fuoco che riporta le linee guida per la valutazione della sicurezza per ambienti in cui siano presenti persone disabili che per la loro disabilità possono essere esposti a rischi particolari, per cui bisogna adottare a soluzioni impiantistiche e organizzative adeguate, ad ex con opportune geometrie e sistemi di apertura delle uscite e segnaletica opportuna.

### 3.6.1 Estintori

Gli estintori [19 e 20],[27],{13},{18 e 19},[54] sono apparecchi contenenti un estinguente che può essere proiettato e diretto su un fuoco sotto l'azione di una pressione interna fornita da una compressione preliminare permanente, o da una reazione chimica, o dalla liberazione di un gas ausiliario. In base al loro dimensionamento si distinguono in *estintori portatili,* concepiti per essere portati e utilizzati a mano, da un singolo operatore, con massa totale inferiore a 20 kg ed *estintori carrellati,* con massa totale superiore a 20 kg e contenuto di estinguente sino a 150 kg.

#### *3.6.1.1 Gli estintori portatili*

Rappresentano il mezzo antincendio più largamente diffuso ma devono essere considerati esclusivamente come mezzi di primo intervento, in quanto consentono di intervenire solo su piccoli focolai o su principi d'incendio, e divengono praticamente inefficaci se il fuoco ha avuto la possibilità di superare lo stadio iniziale ed ha quindi assunto dimensioni notevoli. Sono costituiti da un recipiente contenente l'agente estinguente (in pressione o permanente oppure generata al momento dell'impiego) che viene proiettato energicamente, attraverso un ugello calibrato e azionando un opportuno dispositivo di erogazione, contro le fiamme per effetto di un propellente che consente anche all'operatore di agire a distanza.

Vengono designati in base all'agente estinguente che contengono per cui si distinguono estintori :

- ✓ ad acqua o idrici (da 2, 3, 6, 9 litri),
- ✓ a schiuma chimica o meccanica (da 2, 3, 6, 9 litri),
- ✓ a polvere (con cariche da kg 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12),
- ✓ ad anidride carbonica (kg 2, 5),
- ✓ ad idrocarburi idrogenati (kg. 1, 2, 4, 6),
- ✓ a clean agent.

Bisogna notare comunque che gli estintori idrici ed a schiuma sono di scarsa efficacia in dimensione portatile e non vengono più praticamente adoperati, per cui possono essere trascurati mentre quelli attualmente più validi e diffusi sono quelli a polvere e a $CO_2$ che, pur con le limitazioni delle singole sostanze estinguenti utilizzate, sono di impiego quasi universale e possono essere adoperati anche su apparecchiature sotto tensione elettrica.

A norma del **D.M. 20/12/1982**, ogni estintore deve recare un'etichetta, suddivisa in cinque parti con le seguenti informazioni:

- ✓ **Parte 1** : la parola "Estintore", il tipo di estintore e la sua carica nominale, il codice relativo al focolare tipo che è risultato capace di estinguere;
- ✓ **Parte 2** : le istruzioni d' uso e le classi di fuoco su cui può essere utilizzato (mediante i pittogrammi);
- ✓ **Parte 3** : il simbolo e l'indicazione "Non utilizzare su apparecchi sotto tensione elettrica", se non ha superato la prova dielettrica, l'indicazione "Dopo l'utilizzo in locali chiusi, aerare; l'indicazione "L'utilizzazione di questo estintore può causare la formazione di sostanze pericolose" (per estintori che contengono idrocarburi alogenati);
- ✓ **Parte 4** : l'indicazione "Ricaricare dopo l'uso, anche parziale", l'indicazione "Verificare periodicamente", l' indicazione "Attenzione al gelo" se necessaria, l'indicazione della carica del propellente, le temperature limite di utilizzo, gli estremi dell'approvazione da parte del Ministero dell'interno.
- ✓ **Parte 5** : il nome e l'indirizzo del responsabile dell'apparecchio, l'anno di fabbricazione.

Ai fini di un corretto impiego da parte degli utilizzatori su di essi devono comparire in modo ben visibile opportuni simboli letterali indicanti la classe di fuoco cui sono destinati e codici alfanumerici aventi il significato seguente:

- ✓ il numero che precede la lettera **A** (che segnala un estintore idoneo allo spegnimento di materiali solidi combustibili) indica il numero di travetti in legno componenti il focolare tipo normalizzato che l'estintore ha mostrato di poter spegnere nelle prove di funzionamento effettuate ai fini della sua omologazione; maggiore è il numero posto a fianco della lettera A maggiore sarà la capacità estinguente dell'estintore.

**Tabella 21 : C*aratteristiche dei focolari di classe A***

| Designazione del focolare tipo | Numero di travi di legno di 50 cm per strato | Lunghezza del focolare cm |
|---|---|---|
| 3A | 3 | 30 |
| 5A | 5 | 50 |
| 8A | 8 | 80 |
| 13A | 13 | 130 |
| 21A | 21 | 210 |
| ***(27A)*** | ***27*** | ***270*** |
| 34A | 34 | 340 |
| ***(43A)*** | ***43*** | ***430*** |
| 55A | 55 | 550 |

- ✓ Il numero che precede la lettera **B** (che segnala un estintore idoneo a spegnimento di liquidi infiammabili) indica il volume, in litri, della miscela costituita da 1/3 di acqua e 2/3 di benzina, utilizzata nel focolare tipo normalizzato che l'estintore ha mostrato di poter estinguere nelle prove di funzionamento effettuate ai fini della sua omologazione.

**Tabella 22 : *Caratteristiche dei focolari di classe B***

| Designazione del focolare di prova | Volume liquido (1/3 d'acqua + 2/3 di combustibile) | Dimensioni del recipiente | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Diametro interno al bordo (mm) | Profondità ± 5 mm | Spessore di parete (mm) | Area approssimativa (mq) | Durata min. di funzionamento (s) |
| 21B | 21 | 920 ± 10 | 150 ± 5 | 2,0 | 0,66 | 6 |
| 34B | 34 | 1170 ± 10 | 150 ± 5 | 2,5 | 1,07 | 6 |
| 55B | 55 | 1480 ± 15 | 150 ± 5 | 2,5 | 1,73 | 9 |
| 70B | 70 | 1670 ± 15 | 150 ± 5 | 2,5 | 2,20 | 9 |
| 89B | 89 | 1890 ± 20 | 200 ± 5 | 2,5 | 2,80 | 9 |
| 113B | 113 | 2130 ± 20 | 200 ± 5 | 2,5 | 3,55 | 12 |
| 144B | 144 | 2400 ± 25 | 200 ± 5 | 2,5 | 4,52 | 15 |
| 183B | 183 | 2710 ± 25 | 200 ± 5 | 2,5 | 5,75 | 15 |
| 233B | 233 | 3000 ± 30 | 200 ± 5 | 2,5 | 7,32 | 15 |

Le norma **UNI 9994** prescrive i criteri per effettuare :

- ✓ la **sorveglianza** : controllo della disponibilità dell'estintore nella posizione in cui è collocato e presumibilmente in condizioni di operare, effettuata anche da personale non qualificato;

- ✓ il **controllo** : verifica, ogni sei mesi, dell’efficienza dell’estintore effettuata da personale qualificato;
- ✓ la **revisione** : verifica, con periodicità prevista dalla norma, della perfetta efficienza dell’estintore mediante esecuzione di prove, sostituzione di parti originali, ricarica, effettuata da personale qualificato (da effettuarsi ogni 36 mesi per gli estintori a polvere e ogni 60 mesi per quelli ad anidride carbonica);
- ✓ il **collaudo** : verifica, secondo la periodicità prevista dalla norma, della stabilità del serbatoio e della bombola, ove esistente, dell’ estintore (da effettuarsi ogni 12 anni per quelli a polvere e ogni 10 anni per quelli ad anidride carbonica).

Caratteristica fondamentale di un estintore è la *durata di funzionamento*, ossia il tempo durante il quale si verifica la completa proiezione dell’agente estinguente sul focolaio di incendio, senza interruzioni, con la valvola di intercettazione completamente aperta, non tenendo conto dell’emissione del gas residuo; l’ importanza di una durata minima esigibile è fondamentale, infatti una buona durata di funzionamento può determinare l’estinzione immediata di un principio d’incendio ma comunque è importante non superare di molto la durata minima, per non perdere potenza del getto iniziale fondamentale per l’attacco al principio d’ incendio. Ai fini dell’omologazione ci si può riferire alla seguente tabella :

**Tabella 23 :** ***Durata di funzionamento di un estintore portatile***

| X = quantità agente estinguente in kg o litri | Secondi |
|---|---|
| $X \leq 3$ | 6 |
| $3 < X \leq 6$ | 9 |
| $6 < X \leq 10$ | 12 |
| $10 < X$ | 15 |

Un estintore può contenere un quantitativo di sostanza estinguente variabile da 1 a 12 kg, con una gittata utile variabile da 5 ad 8 metri ed un' autonomia, ossia un tempo massimo di erogazione, variabile da 8 a 15 secondi. Prima dell'uso di un estintore è necessario accertarsi la compatibilità dello stesso con l'incendio da affrontare ad esempio utilizzando opportune tabelle come la seguente :

| Tipi di fuoco → Estinguente ↓ | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| acqua | | | | | |
| schiuma | | | | | |
| $CO_2$ | | | | | |
| halon | | | | | |
| polvere | | | | | |
| - | | | | | |

| distanze operative (m) | |
|---|---|
| acqua | 6÷9 |
| schiuma | 7÷10 |
| $CO_2$ | 3÷4 |
| polvere | 2÷6 |
| halon | 3÷6 |

| Legenda colori | |
|---|---|
| adatto | |
| poco efficace | |
| adatto ma dannoso | |
| inefficace | |
| pericoloso | |

**Figura 27 :** ***Campo di impiego degli estintori***

### *3.6.1.1.1 La dotazione degli autobus*

La dotazione di sicurezza di cui ogni autobus deve essere fornito per gli estintori secondo il **D.M. del 18/4/77** è la seguente: fino a 30 posti è obbligo avere un estintore da 2 kg a neve carbonica o uno da 5 kg a schiuma, oltre i 30 posti 2 estintori da 2 kg a neve carbonica o uno da 5 kg a schiuma, alloggiati in apposite nicchie o in opportune sedi in modo che non si muovano durante la marcia, di cui uno deve essere sistemato presso il sedile di guida del conducente, in caso di due estintori, vanno collocati opposti l'uno dall'altro, ovvero uno vicino al conducente e uno nella parte posteriore del veicolo. Gli estintori sopra specificati possono essere sostituiti da tipi di efficienza equivalente. Tutti gli estintori devono

essere approvati e riconosciuti idonei all'impiego in locali chiusi dal Ministero dell'interno. In particolare sono da escludere tassativamente tutti gli estintori che, ancorché siano stati approvati dal Ministero dell'interno per altri usi, possano, all'atto dell'impiego sui veicoli, sviluppare gas velenosi. Vanno revisionati periodicamente (ogni 6 mesi) da apposite ditte specializzate che appongono una targhetta con apposita punzonatura dell'ultima revisione effettuata; l'estintore deve essere controllato periodicamente attraverso l'apposito manometro per verificare l'effettiva carica.

###### *3.6.1.1.2 La dotazione CTP*

La CTP al fine di garantire l'incolumità dei passeggeri durante il servizio di trasporto ha adottato una politica di sovradimensionamento rispetto alle norme consigliate per cui adotta in particolare per gli autobus oggetto del nostro studio 2 estintori, uno da 6 kg a polvere adatto a incendi di classe ABC e focolari di tipo 34A e 233BC e uno da 5 kg ad anidride carbonica per focolari di tipo 89B-C.

##### *3.6.1.2 Estintore a polvere*

E' il tipo di estintore più diffuso, di uso universale, avente notevole efficacia specie se caricato con polvere ABC (polivalente), ne esistono di differenti versioni ma generalmente è costituito da un involucro cilindrico contenenti appunto prodotti ridotti in polvere con un estremo grado di impalpabilità (prodotto con carica nominale da 1, 2, 4, 6, 9, 12 kg). La polvere che se ordinaria è a base di bicarbonato di sodio, bicarbonato di potassio e cloruro di potassio, se polivalente a base di solfato o fosfato di ammonio, mediante l'azione di un gas inerte viene lanciata sul focolare di incendio. Il gas che agisce da propellente è generalmente anidride carbonica contenuta in apposita bomboletta in pressione sistemata all'interno o all'esterno dell'involucro, oppure azoto contenuto all'interno

dello stesso recipiente. Costruttivamente semplice può divenire facilmente inutilizzabile per perdita della pressione interna a causa di difetti di tenuta della valvola di chiusura, e per tale motivo è generalmente dotato di un indicatore di pressione, che deve indicare un valore compreso all'interno di un campo verde. Agendo sull' apposita manopola di comando, si costringe il gas a fuoriuscire dalla bomboletta e pressurizzare l'involucro cosicché la polvere è costretta a fuoriuscire attraverso un tubo di pescaggio che sfocia in atmosfera mediante un tubo flessibile connesso all'apposita pistola erogatrice.

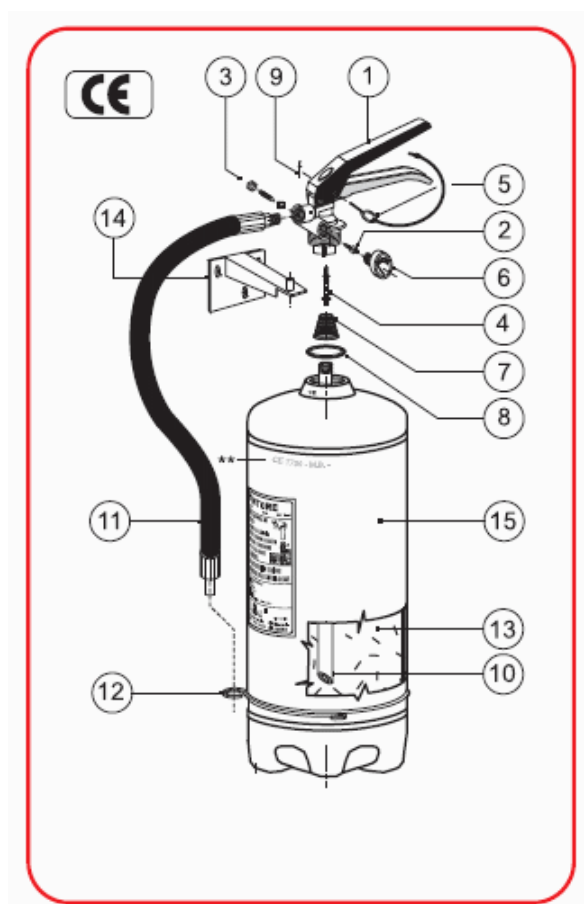



**Figura 28 :** ***Esploso dei componenti di estintore a polvere.*** **1** Valvola a pulsante; **2** Valvola di controllo; **3** Valvola di sicurezza; **4** Pistoncino valvola a pulsante; **5** Spina di sicurezza; **6** Manometro; **7** Molla pistoncino; **8** OR di tenuta; **9** Sigillo per spina di sicurezza; **10** Tubo pescante; **11** Manichetta; **12** Anello ferma manichetta; **13** Estinguente; **14** Supporto in acciaio; **15** Serbatoio.

Dopo ogni uso anche parziale dell'estintore non va mai rimesso al suo posto, ma bisogna provvedere invece alla sua immediata ricarica, perché con ogni probabilità il passaggio di polvere estinguente attraverso le guarnizioni di chiusura del dispositivo di erogazione impedirebbero una chiusura perfetta della valvola, e ciò potrebbe causare una perdita del gas di pressurizzazione in tempi non lunghi e la conseguente impossibilità di funzionamento dell'estintore per mancanza di pressione interna.

#### *3.6.1.3 Estintore ad anidride carbonica*

Detto anche a neve carbonica è costituito da una bombola robusta e pesante contenente $CO_2$, (prodotto con carica nominale da 2 e 5 Kg), liquido sotto una pressione che può variare da 35 atm a 73 atm e da una valvola che aziona l'apertura della bombola stessa; agendo sulla leva di comando si apre la valvola e per effetto della pressione interna il liquido sale attraverso un pescante e mediante un tubo flessibile raggiunge il diffusore della lancia. Sfociando all'aria, una parte evapora istantaneamente provocando un raffreddamento intenso (-75 °C ÷ -80 °C) e solidificando, mentre l'altra parte si trasforma in una massa solida leggera detta *neve carbonica* o *ghiaccio asciutto*. Questa si adagia sui corpi che bruciano e rapidamente si trasforma in gas sottraendo calore, il gas poi essendo più pesante dell'aria, circonda i corpi infiammati e li spegne per soffocamento. Bisogna prestare attenzione al fatto che l'erogazione di un getto di $CO_2$ è di per sé molto freddo ed inoltre provoca un forte raffreddamento dell'estintore pertanto, durante e subito dopo l'erogazione, si deve assolutamente evitare il contatto sia con il getto di gas, sia con l'involucro metallico, impugnando l'estintore solo per la maniglia di trasporto e per il cono di erogazione onde evitare ustioni da freddo. Inoltre ha una certa tossicità (anche se non molto elevata) per cui, dopo l'uso in ambienti chiusi, è opportuno non sostare a

lungo prima di avere aerato efficacemente l'ambiente. Bisogna avere inoltre l'avvertenza di non lasciare esposte al sole le bombole in particolare d'estate, poiché l'enorme aumento di pressione che ne deriverebbe porterebbe alla scarica automatica delle bombole e potrebbe in qualche caso addirittura causarne lo scoppio (a soli 50 °C la pressione interna raggiunge già le 175 atm e a 80 °C supera le 300 atm).

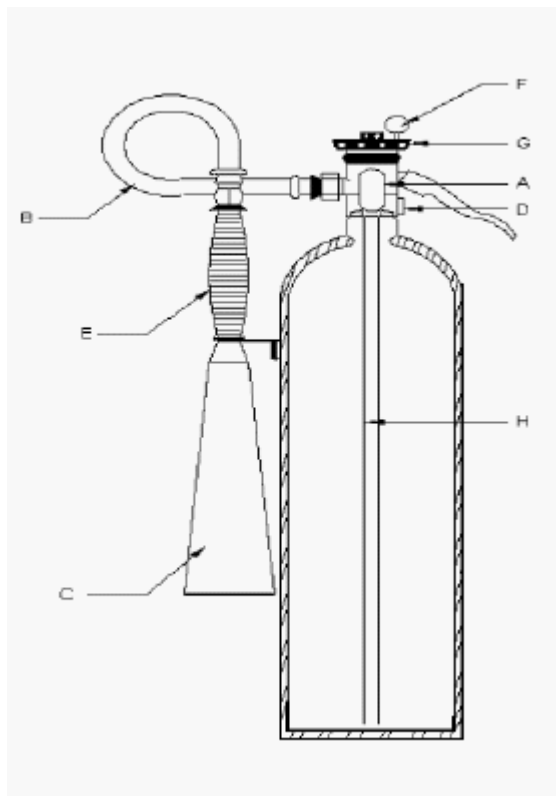



**Figura 29** ***: Estintore ad anidride carbonica.*** **A** valvola di erogazione; **B** manichetta flessibile; **C** cono di erogazione; **D** valvola di sicurezza; **E** impugnatura isolante; **F** fermo di sicurezza; **G** comando erogazione; **H** pescante.

Non spegne le braci prodotte da materiali solidi, ma utilizzabile su fuochi di classe ABC e ha il vantaggio che non danneggia minimamente i materiali cui viene a contatto ed essendo un cattivo conduttore di elettricità risulta particolarmente indicato per lo spegnimento di incendi di impianti elettrici per i quali l'acqua sarebbe dannosa.

### 3.6.2 Impianti antincendio ad intervento automatico

Gli impianti fissi di estinzione incendi [20],[24],[39],[44] hanno la peculiarità di intervenire automaticamente al primo insorgere di un focolaio di incendio, pertanto sono indicati per la protezione di ambienti contenenti beni per i quali appare particolarmente temibile e devastante il manifestarsi dell'incendio, la cui attivazione avviene grazie ad organi in grado di percepire con tempestività adeguata i fenomeni fisici che accompagnano la comparsa del fuoco. Si tratta di dispositivi costituiti da una fonte di alimentazione o riserva di estinguente, da una rete di distribuzione (condotte montanti principali e rete di condotte secondarie), da erogatori e da una centralina valvolata di controllo e allarme, che dopo aver attivato un segnale di allarme, comanda una ben precisa sequenza di azioni che precedono la scarica dell'estinguente sull' incendio.

Tali sistemi vengono classificati in base alle sostanze utilizzate per l'azione estinguente in impianti :

- ✓ a **acqua** : in particolare ad acqua nebulizzata consente una distribuzione uniforme di acqua frazionata sulla superficie e un rapido raffreddamento;
- ✓ a **schiuma** : adatti a liquidi infiammabili, combustibili e lubrificanti necessitano di una riserva idrica, una di liquido schiumogeno, di versatori di schiuma e di un sistema di pompaggio che misceli e proporzioni l'acqua con la schiuma ed incorpori l'aria nel flusso della soluzione schiumogena in pressione per erogare così la schiuma prodotta;
- ✓ a **gas** : a $CO_2$ per ambienti non presidiati e materiali che non devono subire danni e di valore, costituiti o da un sistema di bombole ad alta pressione o serbatoi a bassa pressione, da una rete di distribuzione, da erogatori e dalla strumentazione per la

segnalazione ed attivazione;  ad *argon* specie per impianti elettrici ed elettronici ma risultano costosi e ad *azoto* per beni di grande valore);

- ✓ a **polvere** : adatti in presenza di dispositivi elettrici o metalli come sodio e magnesio, sono costituiti da un serbatoio di stoccaggio della polvere a pressione atmosferica che viene pressurizzato al momento della rilevazione da un gas propellente (azoto o anidride carbonica) e per effetto di questa pressione interna si determina la rottura di una membrana con susseguente immissione della polvere nella rete di distribuzione ed erogazione attraverso opportuni ugelli.

La scelta del tipo di impianto viene effettuata in base al rischio di incendio, alla zona e al materiale da proteggere, all' efficacia dell'impianto stesso, ad eventuali danni che potrebbero subire le persone presenti e ai costi.

Al fine di garantire l'incolumità dei passeggeri e per cercare di contenere i danni in caso di insorgenza di incendi gli autobus della CTP sono dotati di un dispositivo di spegnimento automatico nel vano motore, che viene attivato da un sistema di rilevazione che prevede un controllo termico nei punti caldi del motore.

#### *3.6.2.1 Impianto di spegnimento Pirò*

L' impianto si spegnimento automatico a polvere Pirò [55],{20} è un dispositivo antincendio ad attivazione automatica/manuale coperto da brevetto internazionale prodotto dalla Robot & Fire S.r.l. con marcatura secondo la direttiva 89/392 CEE e successive modifiche e 84/534/CEE-87/405/CEE ed omologazione RINA. Il prodotto può essere utilizzato per proteggere dal rischio incendio sia vani motori di autoveicoli e imbarcazioni, sia vani tecnici contenenti apparecchiature elettriche,

elettroniche, oleodinamiche, termiche e tutti i luoghi non presenziati per i quali un impianto tradizionale non è economicamente conveniente; viene fornito sotto forma di kit che si compone di : un serbatoio con comando pirotecnico, staffa di sostegno e fissaggio serbatoio, tubo erogatore con ugelli (da 2,5 m o lunghezza variabile su richiesta del cliente), sensore a cavo termosensibile e centralina di controllo ad incasso, cablaggio elettrico (con lunghezza variabile a seconda del modello di autobus). Il Pirò è prodotto in cinque differenti versioni rispettivamente da : 1,5 – 2 – 4 – 6 – 12 kg, che garantiscono una copertura totale di tutte le possibili applicazioni richieste. A differenza dei comuni sistemi antincendio già esistenti, l'apparecchiatura che contiene la polvere estinguente è totalmente sigillata e non è sotto pressione. Questa innovazione evita, come spesso accade per i comuni estintori, che la polvere estinguente con il tempo si solidifichi o fenomeno ancora più grave, che si verifichino pericolose perdite di gas che ne rendono vano il loro utilizzo nel momento in cui si verifica l'incendio. Il tipo di estinguente è adatto ad estinguere incendi di classe : A (legno, carta, stoffa), B (liquidi infiammabili), C (gas combustibili), D (metalli), apparecchiature elettriche. Pirò agisce per inibizione chimica della fiamma e per soffocamento : mentre per ottenere l'inibizione chimica occorre distribuire gli ugelli lungo tutto il perimetro del motore o dell'apparecchiatura da proteggere in modo da far arrivare la polvere in ogni punto, per ottenere una buona azione di soffocamento è necessario erogare almeno 600-700 grammi di polvere per ogni metro cubo di volume da saturare. Pertanto nella scelta del tipo di Pirò occorre tenere presente la lunghezza del tubo erogante che è ben definita per ogni estintore e cubatura limite del vano in cui è installato il motore o l' apparecchiatura da proteggere. Per scegliere il Pirò più adatto alle circostanze occorre allora sia misurare il perimetro del motore e/o

dell'apparecchiatura elettrica da proteggere a 30 cm da essa, sia misurare il volume lordo del vano in cui è installato il motore e/o l'apparecchiatura. Con questi dati si cerca quindi in tabella l'estintore che più si avvicina ai valori trovati tenendo presente che è prioritario l'esigenza di circondare il motore con gli ugelli. Con la combinazione di più estintori si possono soddisfare tutte le esigenze.

**Tabella 24 :** ***Scelta Pirò***

| TIPO | Cubatura ($m^3$) | Tubo erogante (m) |
|---|---|---|
| Pirò | 2,5 | 2,4 |
| Pirò k4 | 6 | 4 |
| Pirò k6 | 10 | 5,6 |
| Pirò k12 | 14 | 7,2 |

**Tabella 25 :** ***Caratteristiche estintori***

| Tipo estintore | 1,5 kg | 2 kg | 4 kg | 6 kg | 12 kg |
|---|---|---|---|---|---|
| Diametro (cm) | 11 | 11 | 13 | 16 | 20 |
| Altezza (cm | 39 | 43 | 51 | 55 | 62 |
| Lunghezza tubo (m) | 7 | 4 | 5,5 | 7,5 | 8,5 |
| N° ugelli | 8 | 6 | 10 | 14 | 18 |
| Volume protetto ($m^3$) | 0,8 | 1,0 | 2,0 | 5,0 | 9,0 |

Vediamo le principali caratteristiche tecniche :

**Tabella 26 :** ***Caratteristiche tecniche Pirò***

| Modello | 6 kg |
|---|---|
| Lunghezza tubo erogatore | 7 m |
| Numero di ugelli erogatori | 14 |
| Volume protetto | 5 $m^3$ |
| Superficie protetta | 2,8 $m^2$ |
| Taratura sensore | 138 °C oppure 180 °C |
| Tensione di alimentazione | 24 V DC |

| Polvere estinguente | ABCD-E |
|---|---|
| Materiale serbatoio | Acciaio Fe 37 |
| Materiale copertura serbatoio | Tecno polimero |
| Materiale ugelli | Polimero rinforzato con fibre di vetro 30% |
| Materiale tubo erogatore | Mescola nera EPDM resistente al calore |
| Cavi elettrici | Resistenti all'incendio |
| Protezione cavi elettrici sensore serbatoio | Silicone resistente al fuoco |
| Carica pirotecnica | In attuatore declassificato |

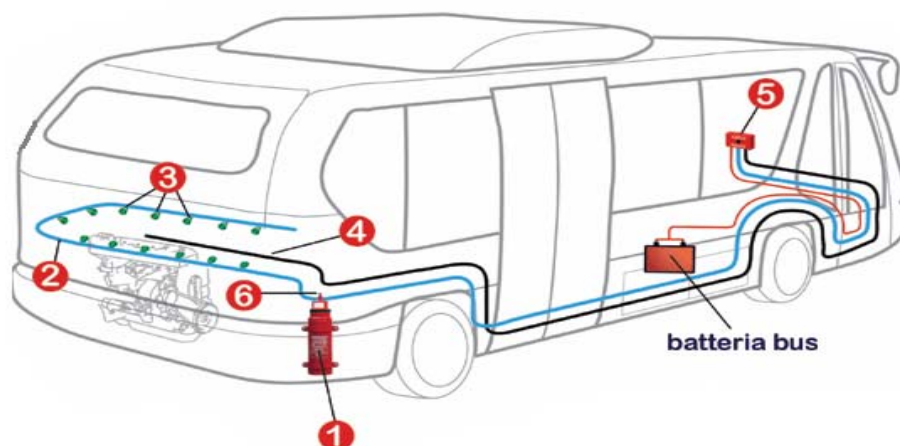



**Figura 30 :** *Il sistema Pirò***.** **1** Estintore, **2** Tubo erogatore, **3** Ugelli, **4** Cavo termosensibile, **5** Box pulsante d' emergenza, **6** Comando meccanico.

Il **serbatoio** (contenente una piccola bombola di $CO_2$ che in caso di incendio viene perforata da un percussore spinto da una carica pirotecnica) può essere montato all'interno del vano da proteggere o in uno spazio attiguo, ma va montato lontano da fonti di calore in ambiente non superiore a 90 °C, in posizione verticale o con inclinazione massima di 45 °C dal lato del tubo erogatore altrimenti potrebbe aversi un malfunzionamento del sistema e posizionato in apposita sporgenza della staffa che è fissata saldamente con bulloni a parti rigide della struttura su un piano liscio in maniera tale da non muoversi o vibrare. Il ***tubo erogatore*** (collegato al beccuccio situato sul serbatoio e fissato con una fascetta metallica a vite) serve a convogliare la polvere estinguente direttamente sulla fiamma e viene sistemato in modo che tutti gli ugelli si

trovino all'interno del vano e il loro getto raggiunga tutti i punti della zona protetta, assicurandosi che la distanza degli elementi da proteggere non sia eccessiva altrimenti occorre predisporre un'opportuna struttura di supporto su cui fissare il tubo; il tubo lungo il camminamento prescelto va fissato utilizzando fascette rivestite di gomma, opportunamente fissate con bulloni, ben strette e in modo che il tubo non possa sfilarsi ma senza serrarle eccessivamente e strozzare il tubo in alcun modo; inoltre non va posto a diretto contatto con oggetti caldi o taglienti, non deve essere investito da aria o vapori caldi, non deve compiere curve strette, bisogna assicurarsi che la traiettoria del getto di ciascun ugello non sia intercettata. Quando il **sensore** (corredato da una spirale metallica che lo protegge dall' usura per contatto e/o strofinamenti con le parti metalliche) è attaccato dal fuoco in un punto, i fili in esso contenuti entrano in contatto chiudendo un circuito elettrico, per cui dovrà essere installato in prossimità degli organi che rendono probabile la causa di innesco e zone ritenute rischio di principio di incendio o surriscaldamento, in modo da assicurare una tempestiva azione del sistema. Bisogna però fare attenzione a non far compiere al sensore curve strette, non porlo a diretto contatto con oggetti caldi (tubi di scarico, turbina, catalizzatore ecc.) o taglienti e non deve essere investito da aria o vapori caldi, lungo il camminamento prescelto va fissato utilizzando fascette rivestite di gomma, opportunamente fissate con dadi e bulloni, senza serrarle eccessivamente o strozzare la spirale in alcun modo, inoltre non va verniciato o isolato in alcun modo altrimenti verrebbe compromessa la capacità di rilevazione del sistema. I test effettuati sul cavo sensore hanno accertato che le temperature che si raggiungono in un vano motore in caso di ebollizione non sono sufficienti per fare intervenire l'impianto. La **centralina di controllo** che provvede alla rilevazione dell'incendio e all' attivazione dei segnali d'allarme, presenta

sul pannello due led di colore verde e rosso che indicano lo stato del sistema e il pulsante per l'attivazione manuale; viene sistemata nelle vicinanze del posto guida in modo da essere facilmente raggiungibile dall'autista e che i led siano visibili e il buzer udibile. Poiché in alcune occasioni la Robot & Fire ha riscontrato il mancato collegamento elettrico tra la centralina e serbatoio a seguito di operazioni di manutenzione, inconveniente che comportava il mancato funzionamento del sistema in caso di attivazione, ha provveduto allora, per ovviare a tale avaria, a migliorare l'efficienza della centralina mediante l'aggiunta di un segnale di interruzione e/o scollegamento della carica pirotecnica. La nuova centralina ha quindi visto la sostituzione del led rosso con uno bicolore così funzionante:

- ✓ Verde fisso : sistema funzionante.
- ✓ Rosso fisso : sistema attivato.
- ✓ Rosso lampeggiante : carica pirotecnica interrotta e/o cablaggio della stessa scollegato.

L'impianto antincendio può avere due modalità di **funzionamento** che non si escludono a vicenda : automatico e manuale. Nel primo caso quando la fiamma (o il fumo caldo) lambisce il sensore che si scalda e raggiunta una temperatura interna di 108 °C provoca al suo interno un corto circuito che è rilevato dalla centralina di controllo. Il led rosso posto sul pannello della centralina si accende, il buzer suona e la carica pirotecnica, posta sul comando del serbatoio, (simile a quella adottata per l'attivazione degli air-bag, ma molto meno potente e senza effetti esterni) viene alimentata elettricamente e l'impulso elettrico la fa esplodere ed aziona il percussore che perfora il diaframma della bombolina di $CO_2$. A questo punto il gas pressurizza il serbatoio (che presenta 3 piccoli tubi all'interno che servono a miscelare la $CO_2$ con l'estinguente) e dopo circa 5 secondi la polvere viene spinta (ad una pressione media di 20 bar)

all'esterno del serbatoio attraverso il tubo erogatore e gli ugelli distribuiscono l'estinguente uniformemente su tutta la zona protetta spegnendo l'incendio rapidamente. Il led e il buzer resteranno in funzione fino allo stacco dell'alimentazione. Il funzionamento manuale può essere attivato in due modi : mediante il pulsante posto sul pannello della centralina di controllo e premendo la testa del percussore posta sul serbatoio (dopo aver estratto la spina di sicurezza che blocca il percussore). Il sistema una volta intervenuto si scarica completamente e non è più in grado di assicurare la protezione e per ripristinarne la funzionalità è necessario sostituire il sensore (andato in corto circuito), il tubo erogatore se danneggiato e ricaricare il serbatoio. La polvere contenuta nel sistema è dielettrica e non aggressiva e questo consente di asportarla, dopo l'intervento, semplicemente con aria compressa, nel caso di utilizzo su apparecchiature elettriche, o con lavaggio nel caso di utilizzo apparecchiature a motore. Periodicamente vanno effettuati una serie di controlli e interventi cui sottoporre le parti secondo il programma riportato nella seguente tabella :

**Tabella 27 :** ***Manutenzione ordinaria***

| Intervento | Scadenza |
|---|---|
| Verifica tubo erogatore | 6 mesi |
| Verifica sensore | 6 mesi |
| Verifica serbatoio | 6 mesi |
| Verifica funzionale sistema elettrico | 6 mesi |
| Sostituzione serbatoio | 3 anni |

La verifica del tubo erogatore consiste nell'ispezione : del corretto fissaggio (controllare che il tubo erogatore sia ben collegato alle parti di sostegno e che la fascetta di fissaggio al raccordo pescante serbatoio sia ben stretta), di rottura e/o danneggiamento, presenza e pulizia ugelli. La

verifica del sensore è il controllo delle condizioni generali della guaina protettiva (usura, abrasione e parti di sostegno) e della corretta funzionalità elettrica. La verifica del serbatoio consiste nell'ispezione per : allentamento staffe di fissaggio, presenza spina di sicurezza del comando manuale, integrità del comando manuale, presenza cartellino di efficienza, integrità coperchio. Particolare attenzione deve essere posta durante la pulizia del vano motore e dell'impianto specie con uso di acqua e/o solventi poiché l'infiltrazione di liquidi potrebbe pregiudicare la funzionalità del sistema, per cui non bisogna bagnare il serbatoio e la centralina di controllo; infine non utilizzare liquidi in pressione in prossimità del tubo erogatore e del sensore.

Recentemente la Robot & Fire ha messo a punto un evoluzione del sistema Pirò dopo il verificarsi degli incidenti in CTP in cui il sistema non ha prodotto i risultati sperati, non riuscendo ad evitare l'incendio o a mitigarne gli effetti. Il nuovo sistema prevede che l'estinguente sia contenuto in due serbatoi e viene distribuito uniformemente attraverso gli ugelli posizionati su due tubi erogatori, uno posizionato nella parte superiore del vano e l'altro nella parte inferiore per meglio aggredire l'incendio. I *tubi erogatori* sono realizzati in materiale (gomma EPDM) resistente agli agenti atmosferici, all'abrasione, a tracce di olio, con temperature di esercizio, da –30 °C a 150 °C e pressione di esercizio di 10 bar ( con valori di scoppio non superiori a 30 bar). Il *sensore*, di tipo a rilevatore termico continuo è costituito da conduttori in acciaio twistati[2] e protetti singolarmente da una mescola termo-isolante, a sua volta il tutto protetto da uno schermo esterno in PVC e uno schermo protettivo per ambienti aggressivi e la cui temperatura può variare da –30 °C a oltre 120

---

[2] **Twisting** operazione di attorcigliamento dei cavetti di una termocoppia che permette una riduzione di rumore e contemporaneamente un aumento delle proprietà meccaniche.

°C. I *serbatoi* devono essere in acciaio, da 4 kg, non pressurizzati, installati in vano dedicato con una temperatura ambiente non superiore a 70 °C; la stabilità termica dell'estinguente è tra –60 °C e 130 °C. Inoltre due accorgimenti sembrerebbero utili oltre al'installazione del sistema di spegnimento automatico quali la costruzione di una paratia tagliafuoco tra vano motore e cabina passeggeri da realizzare con cappottatura isolante e la realizzazione di 2 fori sul portellone vano motore per intervenire manualmente dall'esterno inserendo la manichetta dell'estintore portatile senza aprire il portellone, visto che il sistema per poter funzionare oltre a esse perfettamente integro e efficiente necessità una volta attivato dell' arresto immediato del veicolo e di tener chiuso il vano motore per non vanificare l'azione di soffocamento.

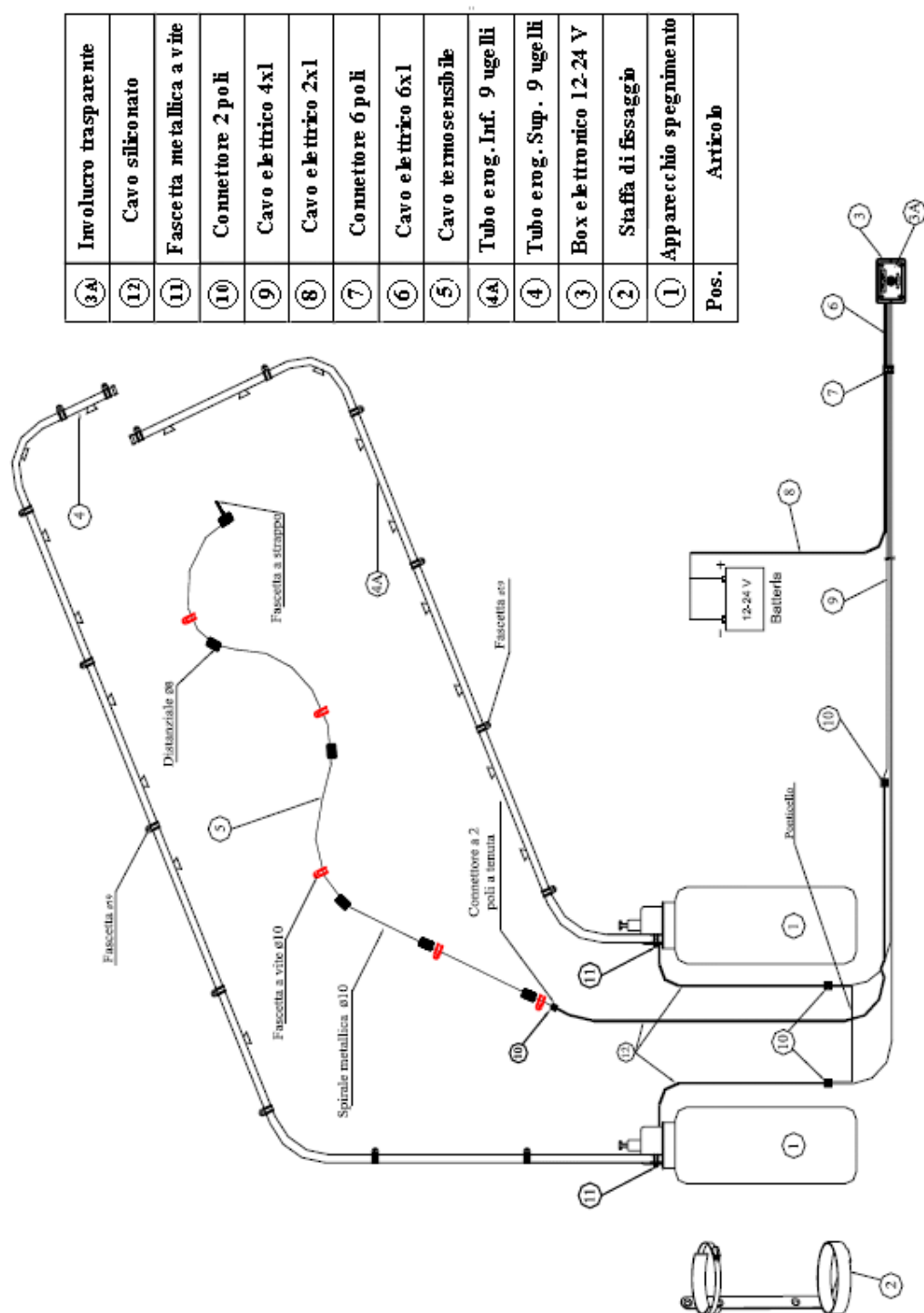



**Figura 31 :** ***Il nuovo Pirò***

### 3.6.2.2 *Altri impianti fissi : ad acqua nebulizzata*

Al fine di orientare i nuovo capitolati di autobus potrebbe essere utile un confronto con analoghi sistemi montati da aziende concorrenti anche se attualmente il Pirò appare il sistema più versatile e adattabile per la flotta della CTP. A questo proposito un dispositivo di emergenza molto usato è il sistema antincendio **Fogmaker** [56],{21} utilizzato dai Mercedes – Benz della Citaro. L'impianto antincendio si compone in questo caso di cinque componenti principali : un serbatoio del prodotto estinguente (1) e una bombola del gas (2) disposti nel vano passeggeri, e un condotto di rilevamento (3), le tubazioni dell'estintore (4) e ugelli(5) posti nel vano motore.

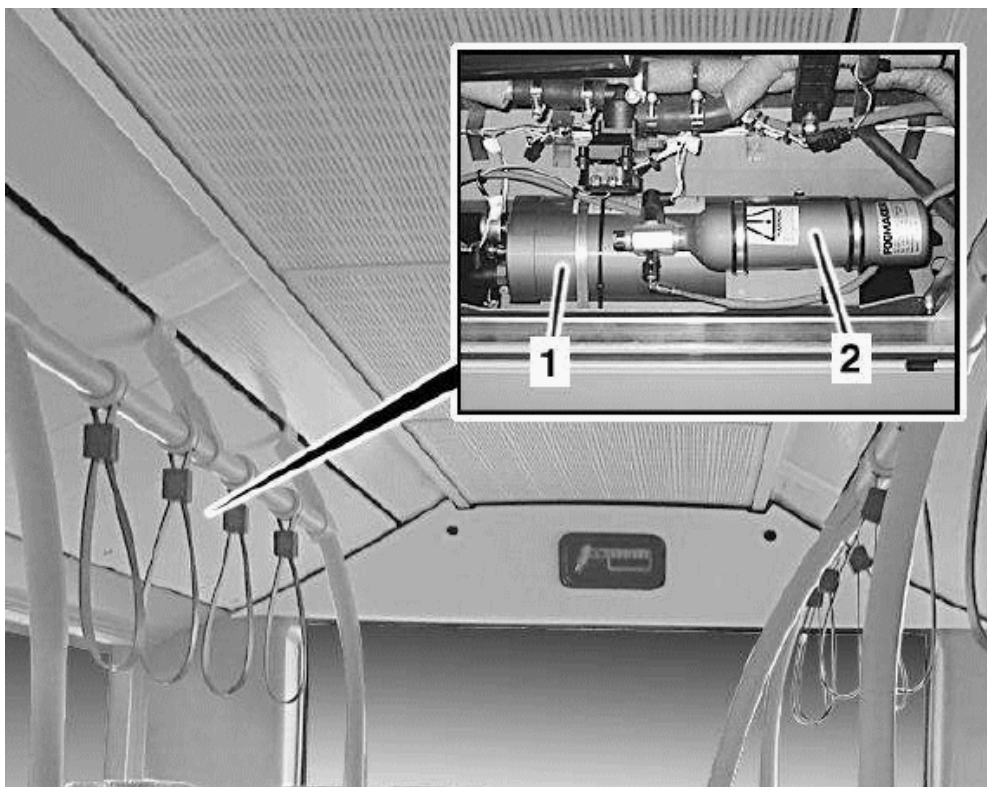



**Figura 32 :** ***Disposizione dell'impianto antincendio nel vano passeggeri. 1 Serbatoio prodotto estinguente, 2 Bombola di gas.***

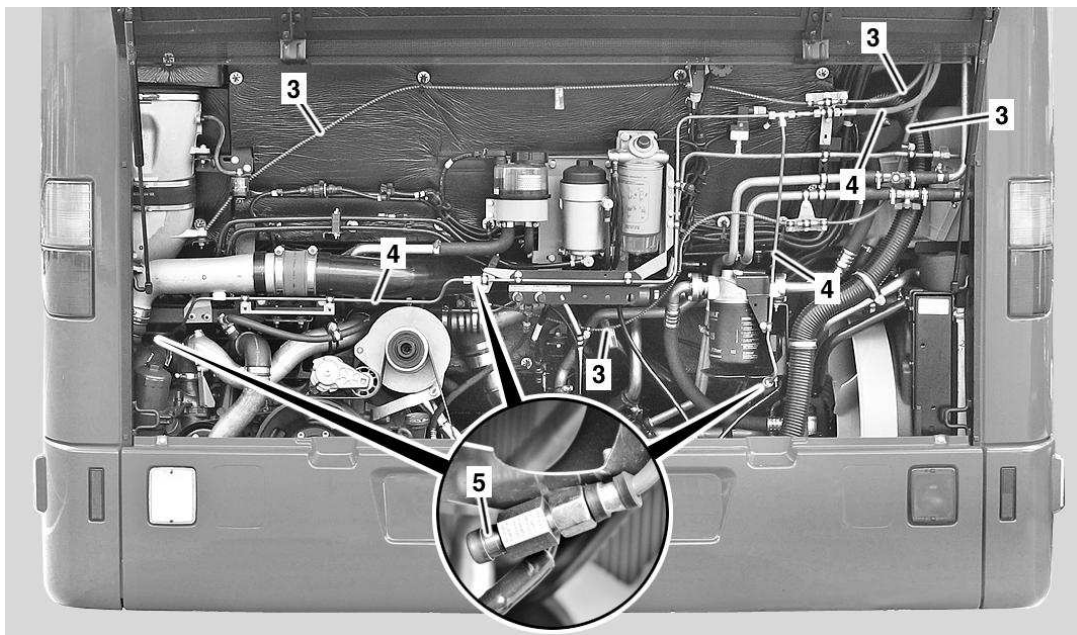



**Figura 33** ***: Disposizione dell'impianto antincendio nel vano motore. 3 Condotto di rilevamento, 4 Tubazioni estintore, 5 Ugelli.***

Una valvola di attivazione, montata sul serbatoio del prodotto estinguente, è collegata tramite il condotto di rilevamento con la bombola di gas cosicché la pressione (circa 15 bar) proveniente dalla bombola di gas (riempita con azoto) arriva alla valvola di attivazione. Sul serbatoio del prodotto estinguente sono collegate le tubazioni dell’estintore sulle quali, nel vano motore, sono montate gli ugelli. In caso di incendio nel vano motore il condotto di rilevamento fonde e il gas di azoto fuoriesce, poi con la caduta di pressione nel condotto di rilevamento la valvola di attivazione sul serbatoio del prodotto estinguente non ha più pressione e fa scattare la funzione di spegnimento. Il liquido estinguente sotto un’elevata pressione (circa 100 bar) viene sospinto dal serbatoio nelle tubazioni dell’estintore e polverizzato in una nebbiolina fine, il liquido esce dagli ugelli. A completare il sistema vi sono due pressostati che sorvegliano l’impianto, mentre l’attivazione viene segnalata al guidatore da un messaggio di avvertimento.

A seconda delle necessità e delle caratteristiche di installazione, Fogmaker adotta due sistemi per l'attivazione automatica: elettrico o pneumatico. In aggiunta è sempre possibile l'attivazione manuale. Nell' **elettrico** il rilevamento incendio avviene per mezzo di un sistema di sensori (non in dotazione) e l' azionamento della valvola di rilascio per mezzo di una minicarica a innesco elettrico. Per l'attivazione manuale del dispositivo, si tira una manopola collegata tramite cavetto alla valvola di rilascio dell'estintore. Possono essere installate fino a 2 manopole, a bordo o all'esterno del veicolo. Nel **pneumatico** il rilevamento incendio e l' azionamento della valvola di rilascio sono riuniti in un unico dispositivo. Un tubo pressurizzato in materiale termosensibile si rompe in caso di incendio provocando l'apertura irreversibile della valvola sull'estintore. Per l'azionamento manuale vengono utilizzati speciali pulsanti che provocano la rottura del tubo, con lo stesso effetto.

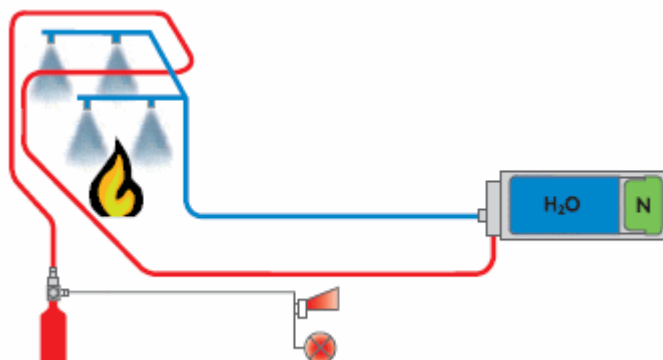



**Figura 34 :** ***Schema del sistema di attivazione pneumatico***

L' altissima efficienza del sistema FOGMAKER nello spegnimento di incendi è basata sulla generazione di aerosol d' acqua e sulla successiva immediata evaporazione delle finissime goccioline che lo compongono, create ad alta pressione (100 bar) tramite ugelli specificamente progettati; estingue l'incendio con tre effetti distinti :

- ✓ La nebulizzazione in microgocce (50 micron), dovuta all'alta pressione (100 bar) e agli speciali ugelli che aumenta notevolmente la superficie del liquido, rendendo molto più veloce il processo di evaporazione e quindi l'abbassamento della temperatura ambientale e delle superfici arroventate al di sotto del limite di autoinnesco di fiamma in modo che non solo l'incendio venga spento ma si evita anche che la fiamma riprenda.
- ✓ Soffocamento. Durante il processo di evaporazione il volume dell'acqua aumenta di 1700 volte, l'ossigeno presente nell'ambiente viene spostato e la concentrazione si abbassa e le fiamme vengono soffocate dall'interno, impedendo inoltre l'apporto di nuovo ossigeno.
- ✓ Inibizione. Il liquido estinguente contiene sia acqua che AFFF, una sostanza schiumogena che favorisce la formazione di una pellicola liquida sulle sostanze oleose e sui carburanti, impedendone l'evaporazione e la possibilità di incendiarsi nuovamente.

Test di incendio effettuati su un vano motore simulato di circa 2,5 $m^3$ in cui il fuoco veniva alimentato da 4 vasche di carburante poste sul fondo e da uno spruzzatore di gasolio a 5 bar con 1 litro al minuto per simulare la perdita dal condotto del gasolio mostrano che nei 12 secondi necessari per il completo spegnimento venivano utilizzati solo 7,5 dl di liquido, mentre la temperatura subiva un drastico abbassamento da 400 °C a 40 °C come evidenziato nella figura seguente. Infine la figura 36 rappresenta la sequenza di spegnimento con foto distanziate l'una dall'altra da intervalli di 4 secondi.

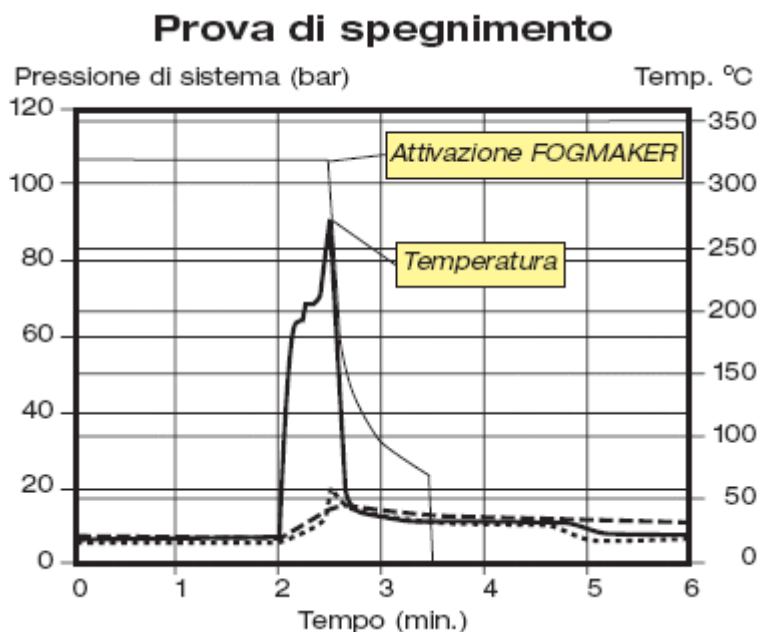



**Figura 35 :** ***Andamento della temperatura nella prova di spegnimento***

**Figura 36 :** ***Sequenza di spegnimento***

Il sistema di spegnimento ad aerosol acquoso della Fogmaker è un sistema che offre vantaggi sostanziali rispetto a estintori tradizionali a polvere o schiuma a bassa pressione e gas, infatti funziona in qualunque posizione anche in caso di ribaltamento, può essere installato dovunque anche lontano dal vano motore svuotandosi completamente indipendentemente dalla sua posizione o angolazione; inoltre la nebbia d'acqua se aspirata da motori in funzione non fa alcun danno, pertanto risulta un dispositivo efficiente, rapido, ecologico e dopo un incendio non richiede alcuna pulizia speciale ma basta un semplice lavaggio con acqua.

#### *3.6.2.3 Sistemi a gas*

Altro impianto antincendio, attualmente utilizzato in CTP su alcune tipologie di veicoli, che potrebbe contribuire ad aumentare la sicurezza sui veicoli in caso d'incendio, il più delle volte situati nella parte posteriore del veicolo, in grado d'intervenire in modo completamente automatico ed istantaneo, anche se il conducente del veicolo non si dovesse accorgere di cosa stia avvenendo nel vano motore è un prodotto della ERAR Srl, denominato **Firekill** [57], che può essere facilmente installato su qualsiasi tipo di autobus pur con eventuali adattamenti dovuti alle diverse case costruttrici dello stesso. L'impianto, che è certificato CE e anche TÜV, non esercita in alcun modo interferenze sull'impianto elettrico del veicolo o sulle centraline elettroniche di bordo e per molti anni non necessita di manutenzione (sul serbatoio è presente anche un piccolo manometro) e sopporta molto bene, il calore, il gelo, l'umidità e non teme lo sporco. Ripristinare il funzionamento dell'impianto dopo l'uso è assai poco costoso, facile e veloce. Basta infatti sostituire il serbatoio vuoto e relativa valvola a cartuccia pirotecnica con uno pieno fornito di una nuova valvola e nessuna pulizia particolare è dovuta al vano motore per la miscela estinguente usata. La sistemazione dell'impianto in generale e degli ugelli in particolare viene studiata per ogni singolo modello di autobus in modo da assicurare la miglior efficienza possibile di funzionamento dello stesso.
L'impianto è composto principalmente da**:**

- ✓ un **serbatoio** da 6 litri plastificato all'interno, dimensionato per una pressione max di esercizio di 15 bar a 20° C e di 18 bar a 60° C, va ricollaudato ogni 12 anni;
- ✓ uno **speciale gas estinguente** a saturazione totale chiamato EASY FIRE FM200® (per gli autobus con alimentazione a Gas Naturale

o GPL) gas pulito, puro, con un insignificante impatto ambientale ed è ecologico nei confronti dell'ozono, dielettrico, protegge efficacemente i beni ed è sicuro per le persone, non avendo ne limitazioni ambientali ne limiti legislativi d'uso. E' un gas trasparente, non sporca, non danneggia nessun tipo di materiale. La quantità di gas immesso, circa 6 litri, è sufficiente per un volume di circa 10 $m^3$;

- ✓ una speciale **valvola** con cartuccia pirotecnica e manometro; è costruita in ottone, su di essa è presente un sigillo di sicurezza verde per migliorare il controllo visivo a distanza prima dell'installazione; la valvola è dotata di carica pirotecnica conforme alle specifiche per l'attivazione elettrica e la partenza automatica dell'impianto;
- ✓ un **sensore di temperatura a cavo**, ossia un cavo termosensibile composto da conduttori spiratati del diametro di 0,9 mm in acciaio armonico isolati da una guaina in PVC con temperatura di fusione nominale adatta allo scopo. Questo sensore termina con un connettore di sicurezza con ghiera di bloccaggio antisvitamento in modo da poter essere fissato da un lato su una parete del vano motore e dall'altro avere la possibilità di un veloce rimozione in caso di assistenza al motore;
- ✓ quattro ugelli nebulizzatori da posizionare nei punti critici dell'area motore;
- ✓ tubo in rilsan 10x0,8;
- ✓ raccorderia varia;
- ✓ un supporto per il sostegno del serbatoio;
- ✓ due cinghie di fissaggio a supporto;
- ✓ staffe di fissaggio ugelli.

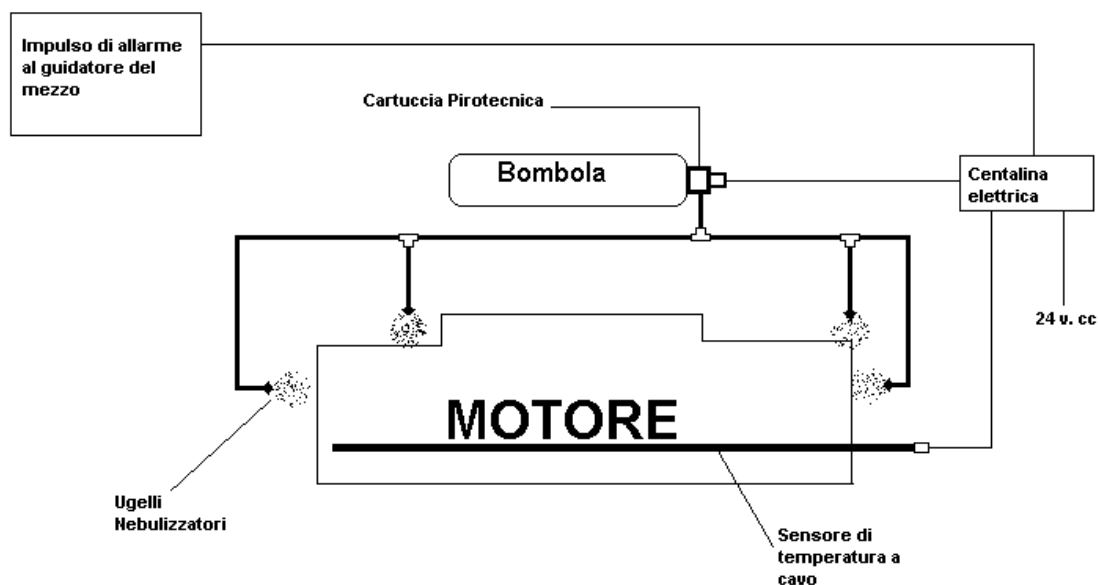



**Figura 37 :** ***Il sistema Firekill***

**Estinguente** : a seconda del tipo di carburante utilizzato dall'autobus, è necessario prevedere un estinguente specifico. Per gli autobus con alimentazione *diesel* l'additivo SEALFIRE appartenente alla categoria dei fluoro sintetici standard, è ottenuto da materie prime di qualità superiore, con rigidi procedimenti di controllo ed in accordo con le specifiche UK Defence Standard e con le metodiche descritte dal Ministero dell'Interno ed è caratterizzato dalle seguenti proprietà :

- ✓ la schiuma è dotata di eccezionale fluidità che permette, insieme all'effetto filmante, di ottenere tempi di controllo della fiamma nell'ordine di una decina di secondi;
- ✓ i fluorotensioattivi contenuti fanno in modo che le caratteristiche della schiuma non siano compromesse dal tuffo sugli idrocarburi infiammati; infatti le goccioline di idrocarburo, che rimangono emulsionate nella schiuma, risultano essere confinate e non sono quindi in grado di danneggiare la qualità della schiuma stessa o di entrare immediatamente in combustione;

- ✓ è provvisto di antigelo;
- ✓ impedisce l' eventuale accensione con il suo effetto filmante;
- ✓ non è pericoloso su apparecchiature elettriche essendo stato testato secondo le normative Europee EN3 e superato il test a 35.000 Volt;
- ✓ non danneggia i componenti del motore né le vernici dell'autobus e può essere asportato totalmente semplicemente lavando la superficie esposta con acqua.

Le principali proprietà chimico fisiche sono indicate nella tabella seguente :

**Tabella 28 :** ***Proprietà chimico fisiche estinguente***

| Proprietà estinguente | Specifiche |
|---|---|
| Concentrazione | 6% |
| Aspetto | liquido limpido, colore ambrato |
| Peso specifico a 15°C 8gr/cm $^3$ | 1,04 / 1,08 |
| Sedimenti (centrifuga) | max 0,1% volume a 20°C |
| Viscosità a 20°C (cS) | max 20 |
| Viscosità A 0°C (cS) | max 45 |
| Punto di scorrimento (OC) | max -12 / + 2 |
| Neutralità (pH) | 6.0 / 8.0 |
| Solubilità (sedimenti) | max 0.1% |
| Invecchiamento a caldo | aspetto invariato |
| Sedimenti (centrifuga) | max. 0.2 % |
| Variazione pH | entro i limiti delle specifiche |
| Altre variazioni | entro i limiti delle specifiche |
| Invecchiamento a freddo | aspetto invariato |
| Stabilità delle soluzioni a freddo e a caldo | proprietà invariate entro i limiti delle specifiche |
| Corrosione Acciaio C10 (UNI 2953): | max. 0.5 g / mq 24 ore (5mdd) |
| Corrosione Acciaio Inox (AISI 304): | max. 0.5 g / mq 24 ore (5mdd) |
| Rapporto di espansione | una volta spruzzato il suo volume aumenta di 8+11 volte |

#### *3.6.2.3.1 Modalità di funzionamento*

In caso d'incendio la temperatura viene rilevata dal sensore termico a cavo, e da in lato si crea un corto circuito che viene rilevato dalla centralina di controllo che attiva un impulso elettrico che fa esplodere la carica pirotecnica presente sull'estintore e permette la fuoriuscita dell'estinguente tramite gli ugelli e contemporaneamente la centralina invia un segnale (luminoso e acustico) al conducente che ha così la possibilità di mettere il veicolo in sicurezza e almeno 5 minuti sicuri per poter sia far scendere i passeggeri dall'autobus sia spegnere il motore scongiurando cosi che il gas proveniente dalle bombole possa in qualche modo innescare un ritorno di fiamma una volta che l'azione dell' impianto si sia affievolita. A completamento dell'impianto e come ulteriore componente di sicurezza, viene installata sulla valvola dell'estintore un' ampolla che attiva comunque l'impianto nel momento in cui, nel vano di installazione, viene superata la temperatura di 140°C. Nel caso in cui il conducente abbia motivo di ritenere che nel vano motore o nel vano del preriscaldatore sia in atto un principio di incendio o che esso sia già in corso, può attivare l'impianto di spegnimento premendo un pulsante posizionato nella zona di guida con un funzionamento dell'impianto che in caso di attivazione manuale rimane identico. L' impianto è molto affidabile, ogni suo singolo componente infatti è testato, garantito da prestigiosi centri di ricerca che hanno dimostrato come durante la fuoriuscita fortuita di una piccola quantità di carburante, un cortocircuito o le scintille derivanti dallo sfregamento delle lamiere sufficienti ad innescare un incendio, intervenga in maniera tempestiva necessitando di poco estinguente, a tutto vantaggio di costi e dimensioni, consentendo anche risparmi assicurativi mediante accordi con l'assicurazione.

**Figura 38 :** ***Posizionamento della bombola su un Breda Menarini***

### *2.6.2.3.2 Manutenzione ordinaria*

Le operazioni di manutenzione ordinaria sono prestabilite per legge e si suddividono in quattro tipi di azione:

- ✓ **sorveglianza** : atta a controllare l'estintore nella posizione in cui è collocato, che l'estintore sia chiaramente visibile e immediatamente utilizzabile, che non sia manomesso o che risulti mancante di alcune parti o che non presenti anomalie dovute a corrosione, urti incrinature etc., che l'indicatore di pressione indichi un valore di pressione compreso all'interno del campo verde; che tutti i componenti dell'impianto non siano danneggiati (per es. ugelli ostruiti, cavo non correttamente fissato). Le anomalie riscontrate devono essere eliminate. Ogni 30 giorni va effettuata un' ispezione visiva atta a verificare che l'indicatore pressione presente sull'estintore si trovi nella zona verde.
- ✓ **Controllo** : volto a verificare l'efficienza dell'estintore, con frequenza almeno semestrale. Gli accertamenti riguardano

principalmente la pressione interna e lo stato di carica, tramite pesatura, dell'estintore.

- ✓ **Revisione** : consiste nel verificare e rendere perfettamente efficiente l'estintore e tutto l'impianto con accertamenti e interventi rivolti all'esame e al controllo di tutti i suoi componenti. Ad esempio: controllare che tutte le tubazioni i raccordi e gli ugelli siano liberi da occlusioni, incrostazioni e sedimentazioni, sostituire i dispositivi di sicurezza contro le sovrappressioni, sostituire l' agente estinguente, controllare il corretto montaggio dell'estintore. Ogni 24 mesi va sostituito l'estinguente se a base schiumosa (SEALFIRE), ogni 72 mesi se a gas (HFC227).
- ✓ **Collaudo** : consiste nella verifica della stabilità della bombola dell'estintore in quanto facente parte di apparecchi a pressione. Ogni 12 anni va collaudato il serbatoio.

### 3.6.3 Sistemi di rilevazione e di segnalazione incendio

Per **rilevazione** [41],[44],[52],{22} d' incendio si intende la misura di una grandezza tipica di uno dei fenomeni associato all'insorgere dell' incendio, da non confondersi con il concetto di **rivelazione** che è la comunicazione della notizia, al sistema demandato ad intervenire, che si sta sviluppando l' incendio dopo essere stato rilevato. La rilevazione si basa sulla capacità di percepire l'incendio, sin dalle sue prime fasi, a partire dalle sue manifestazioni esteriori, che possono essere schematizzate come fumo, calore e fiamma ed il sistema ideale può considerarsi quello in grado di rilevare il fenomeno nella fase covante, prima che la combustione degeneri nella fase di incendio generalizzato, con un tempo di intervento (vedi curva temperatura tempo) possibilmente inferiore al tempo di prima propagazione ossia prima che si sia verificato

il flashover quando le temperature sono ancora relativamente basse e lo spegnimento risulta più semplice e i danni contenuti.

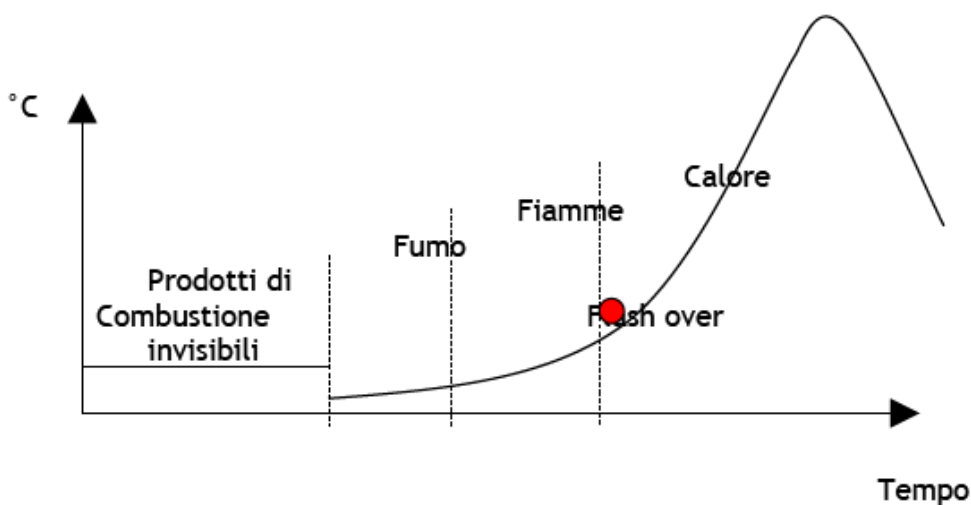



**Figura 39 :** ***Intervento dei diversi rilevatori sulla curva temperatura tempo***

Infatti nella figure seguente si può notare che l'entità dei danni, se non si interviene prima, ha un incremento notevole non appena si verifica il flashover.

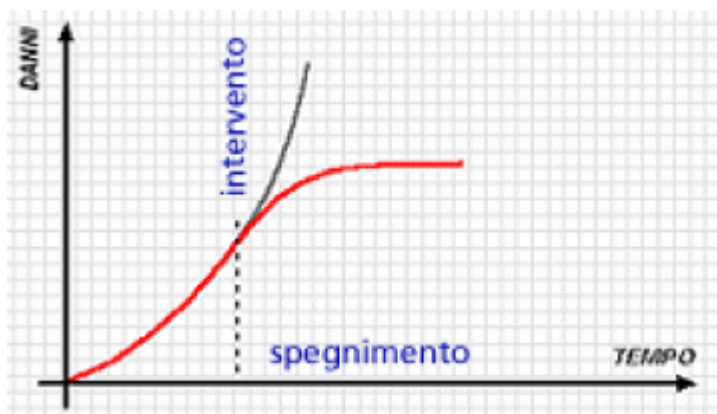



**Figura 40 :** ***Andamento dei danni nel tempo durante un incendio***

I sistemi di rilevazione saranno naturalmente tanto più efficaci quanto più precocemente sono in grado di segnalare un principio di incendio in modo che possa essere rapidamente avviata l' azione di controllo ed ispezione immediata della zona interessata al fenomeno così da contenere i danni, avviare un tempestivo sfollamento delle persone e abbandono del

veicolo se necessario, attivare i piani di intervento, i sistemi di protezione (manuali e/o automatici di spegnimento) e le misure di sicurezza. I diversi parametri che vengono rilevati e i diversi modi di svolgere l'azione di rilevazione sono alla base delle diverse tipologie di apparecchiature che sono state sviluppate e che andranno utilizzate in funzione delle caratteristiche dell'incendio atteso e delle finalità del sistema. Per **rilevatore** deve intendersi un dispositivo installato nella zona da sorvegliare in grado di misurare e captare, con continuità o a frequenti intervalli di tempo, le variazioni nel tempo di grandezze tipiche della combustione, la velocità delle variazioni dei parametri fisici che hanno luogo nell'ambiente da controllare e poi di trasmettere un segnale di allarme una volta superata una determinata soglia di riferimento. I rilevatori d' incendio possono essere classificati secondo diverse modalità, ad esempio in base al *fenomeno* che sono destinati a percepire e segnalare si distinguono in :

- ✓ **Rilevatori di calore** [17],[24],[44] sono quelli che rispondono a un aumento di temperatura, effetto più eclatante del fenomeno incendio, che trovano applicazione come elementi di conferma dello stato di allarme innescato da un rilevatore più sensibile (di fumo o di fiamma). Tipici sono i *rilevatori termici a massima* che determinano l'allarme quando la temperatura raggiunge un valore prefissato, i *rilevatori termovelocimetrici* che entrano in funzione quando la temperatura aumenta con velocità superiore ad un valore prefissato e i *rilevatori termo differenziali* che si basano sul comportamento differenziale dell'aumento della temperatura a seguito di un incendio attraverso un circuito che valuta la differenza di resistenza elettrica tra un resistore isolato e un termistore di misurazione (sensore che converte la temperature in

corrente elettrica costituito da un materiale la cui resistenza diminuisce fortemente con la temperatura).

- ✓ **Rilevatori di fumo** sono invece sensibili alle particelle prodotte dalla combustione e/o pirolisi rilasciate nell'aria e sulla rilevazione del fumo si basano i sistemi di rilevazione più sensibili, adatti specialmente per i materiali combustibili ma non per i prodotti infiammabili. I fenomeni principali su cui si basano sono la diffrazione o diffusione della luce emessa da una sorgente luminosa e l'alterazione del flusso di particelle ionizzate emesse da una sorgente radioattiva. Si distinguono *rilevatori ottici* basati sull'effetto del fumo su un fascio luminoso e *rilevatori a ionizzazione* o radioattivi che si basano sull'effetto del fumo su un flusso di particelle ionizzate che si muovono in un campo elettrico determinato da due elettrodi di carica opposta. Tra si essi si potrebbero far rientrare anche i **rilevatori di gas**, sensibili ai prodotti gassosi della combustione e/o della decomposizione termica [20],[24].
- ✓ **Rilevatori di fiamma** sono invece sensibili alle radiazioni elettromagnetiche, visibili e/o invisibili, emesse dalle fiamme in un incendio, utili quando lo sviluppo della fiamma è pressoché immediato e non sono particolarmente visibili i prodotti della combustione come nel caso dei liquidi infiammabili. Questi rilevatori hanno la capacità di vedere la fiamma nelle sue radiazioni elettromagnetiche di base, dall'infrarosso fino all' ultravioletto, passando per lo spettro delle radiazioni visibili e basano il loro funzionamento sull'alterazione che le radiazioni ricevute esercitano su un campo elettrico generato da una coppia di elettrodi fra i quali passa una corrente predeterminata. Possono aversi quindi : *rilevatori a sfarfallamento* sensibili alle radiazioni

emesse nel campo visibile, *rilevatori ad infrarosso* in grado di percepire le radiazioni infrarosse emesse dalla fiamma, *rilevatori ultravioletti* sensibili alle radiazioni ultraviolette e finanche *rilevatori ad ultrasuoni* sensibili alle variazioni di un campo sonoro indotte dal movimento d'aria negli spazi sovrastanti i focolai d'incendio [58].

In base invece al *metodo di risposta* dei rilevatori al fenomeno rilevato possono aversi:

- ✓ **rilevatori statici** : danno luogo ad allarme quando la grandezza del fenomeno controllato è superiore ad un predeterminato valore;
- ✓ **rilevatori differenziali** : azionano l'allarme quando differenze delle grandezze del fenomeno, controllato in due o più punti, superano un certo valore per un tempo sufficiente;
- ✓ **rivelatori velocimetrici** : danno luogo ad allarme quando la rapidità di variazione del fenomeno controllato nel tempo supera il valore di soglia per un tempo sufficiente.

In base alla *tipologia di elementi sensibili* disponibili si distinguono in :

- ✓ **rilevatori puntiformi** : si basano su elementi sensibili di tipo puntiforme e rispondono al fenomeno rilevato in vicinanza di un punto fisso;
- ✓ **rilevatori a punti multipli** : rispondono al fenomeno rilevato in vicinanza di un determinato numero di punti fissi;
- ✓ **rilevatori lineari** : che sono in grado di rispondere al fenomeno entro uno spazio delimitato da una fascia di larghezza nota e la cui mezzeria è costituita dalla linea lungo la quale sono installati i rilevatori (ad esempio il sistema di rilevazione di temperatura a cavo termosensibile visto nel Pirò).

Le diverse classificazioni possono schematizzarsi [17] come riportato nella seguente tabella :

**Tabella 29 :** ***Classificazione rilevatori di incendio***

| Parametro di classificazione | Tipo di rilevatore di incendio |
|---|---|
| Fenomeno rilevato | Rilevatori di calore, fumo, gas, fiamma |
| Metodo di rilevazione | Rivelatori statici, differenziali, velocimetrici |
| Principio di funzionamento | Rilevatori a ionizzazione, ottici attivi e passivi |
| Configurazione | Rilevatori puntiformi, a punti multipli, lineari |

Per **impianto di rilevazione** invece deve intendersi l'insieme delle apparecchiature installate per rilevare, localizzare e segnalare l'inizio di un principio di incendio che sono costituiti da : *rilevatori* (che tramutano i fenomeni che accompagnano la combustione in variazione di altre grandezze), un *convertitore* (che trasforma le grandezze ausiliarie dei rilevatori in segnali trasmissibili a distanza quando tali grandezze superano prefissati valori), un *quadro* o centrale di controllo che riceve ed elabora i segnali provenienti dai rilevatori e sul quale sono inseriti tutti gli organi occorrenti per il funzionamento dell'impianto.
Nel caso degli autobus, su alcune tipologie di veicoli attualmente vengono utilizzati dei rilevatori di tipo statico che rilevano le variazioni di calore : quando il sensore rileva che il valore della grandezza misurata supera un prefissato valore di soglia, trasmette un segnale di allarme alla black - box che avvisa il conducente, attiva i dispositivi automatici di spegnimento, blocca l'alimentazione elettrica e contemporaneamente il flusso dei fluidi combustibili.

### 3.6.4 Istruzioni ai conducenti e procedura comportamentale

Vediamo come un autista debba operare per tentare di spegnere un incendio o meglio un principio di incendio poiché quando le fiamme hanno avvolto il veicolo è molto difficile avere ragione del fuoco. La prima cosa da fare è chiedere l'intervento dei Vigili del Fuoco; nell' attesa si possono effettuare delle semplici manovre che, se non

conosciute, potrebbero essere oggetto di addestramento specifico. Dopo l'allarme, accostato l'autobus in luogo sicuro, avendo cura di considerare il giusto spazio necessario all'apertura delle porte ed all'uscita dell'utenza trasportata e allontanato tutti i passeggeri dal mezzo,  prima di tentare di estinguere un fuoco, si dovranno indossare i dispositivi di protezione individuale, ossia gli indumenti protettivi in dotazione e in ogni caso proteggersi il più possibile per evitare che eventuali fiammate producano ustioni. L'autista [59] quindi deve :

- ✓ se il fuoco è all'interno del vano motore e qualora il cofano fosse aperto, posizionarsi in prossimità di uno dei montanti anteriori, possibilmente sopra vento così da non essere raggiunto dalle fiamme e dal fumo, tentare di individuare il punto di origine delle fiamma e dirigere il getto dell'estintore con lanci veloci e intermittenti, facendo economia dell'agente estinguente in previsione della possibilità che l'incendio possa riprendere;
- ✓ se il fuoco è all'interno del vano motore e il cofano è parzialmente aperto o addirittura chiuso non tentare di aprirlo, altrimenti darebbe aria alle fiamme ravvivandole e correndo il rischio di essere raggiunto dalle fiamme mentre tenendolo chiuso limita l'afflusso di aria. Deve inserire, per quanto possibile, l'ugello di erogazione dell'estintore nella fessura posta tra il cofano e la mascherina anteriore oppure in una delle fessure normalmente presenti tra il cofano e il parabrezza o ancora nelle aperture presenti, talvolta, nei parafanghi o in ogni caso qualunque apertura che permette di raggiungere l'interno del vano motore può essere utile;
- ✓ se il fuoco interessa la parte sotto il cruscotto o il rivestimento, oppure ha attaccato altri materiali combustibili presenti nell'abitacolo tentare di individuare il punto di origine delle

fiamma e dirigervi il getto dell'estintore con lanci veloci e intermittenti facendo attenzione a non riempire il veicolo con l'estinguente, potrebbe essere pericoloso per gli occupanti che ancora sono a bordo;

- ✓ se il fuoco interessa il bagagliaio di un veicolo non aprirlo in quanto, come già detto, l'aria potrebbe ravvivare le fiamme e correrebbe il rischio di essere raggiunto dalle fiamme e cercare altre vie per arrivarci;
- ✓ se il fuoco interessa apparecchiature elettriche, utilizzare l'estintore a $CO_2$ se presente; in ogni caso appena è possibile si dovrà procedere all'isolamento della batteria del veicolo, tramite l'apposito sezionatore, in quanto frequentemente è origine di innesco per l'incendio.

#### *3.6.4.1 Modalità di utilizzo dell'estintore*

Per quanto attiene alle modalità di utilizzo dell'estintore [20], qualunque esso sia e contro qualunque fuoco l'intervento sia diretto è necessario attenersi alle istruzioni d'uso dell'estintore. L'autista deve operare a giusta distanza per colpire il fuoco con getto efficace. Questa distanza può variare a seconda della lunghezza del getto consentita dall'estintore e compatibilmente con l'entità del calore irradiato dall'incendio. Inoltre va tenuto presente che all'aperto è necessario operare a una distanza ridotta, quando in presenza di vento si possa verificare dispersione del getto. Inoltre deve dirigere il getto di sostanza estinguente alla base delle fiamme e non attraversare con il getto le fiamme, nell'intento di aggredire il focolaio più grosso, ma agire progressivamente, cercando di spegnere le fiamme più vicine per aprirsi la strada per un'azione in profondità. Una prima erogazione a ventaglio di sostanza estinguente può essere utile con alcune sostanze estinguenti a polvere per poter avanzare in profondità e

aggredire da vicino il fuoco. Non deve sprecare inutilmente sostanza estinguente, soprattutto con piccoli estintori: adottare pertanto, se consentito dal tipo di estintore, una erogazione intermittente. Nel caso di incendio all'aperto in presenza di vento, deve operare sopra vento rispetto al fuoco, in modo che il getto di estinguente venga spinto contro la fiamma anziché essere deviato o disperso. Nello spegnimento di un liquido infiammabile l'azione estinguente va indirizzata verso il focolaio con direzionalità e distanza di erogazione tale che l'effetto dinamico della scarica trascini la direzione delle fiamme tagliandone l'afflusso dell'ossigeno. Occorre fare molta attenzione a non colpire direttamente e violentemente il pelo libero per il possibile sconvolgimento e spargimento del combustibile incendiato. Nel caso di combustibili solidi l'angolo d'impatto deve risultare più accentuato per migliorare la penetrazione della polvere estinguente all'interno delle zone di reazione. In ogni caso dovrà prestare attenzione perché l'effetto dinamico dell'estinguente potrebbe causare la proiezione di parti calde e infiammate generando la nascita di altri focolai. A volte l'azione estinguente risulta complessa e la direzione del getto del materiale estinguente richiede continue variazioni per raffreddare zone diverse tutte concorrenti alla generazione dell'incendio. Infine il focolaio appena spento non va abbandonato se non dopo un periodo di tempo tale che non possa riaccendersi. Non deve dirigere mai il getto contro le persone, anche se avvolte dalle fiamme, l'azione delle sostanze estinguenti sul corpo umano specialmente su parti ustionate, potrebbe fra l'altro provocare conseguenze peggiori delle ustioni; in questo caso ricorrere all'acqua oppure al ben noto sistema di avvolgere la persona in coperte o indumenti.

## 3.7 LA PROTEZIONE PASSIVA

La **protezione passiva** [39],[60 a 62],{15 e 16} è l'insieme delle misure di protezione che non richiedono l'azione di un uomo o l'azionamento di un impianto ed hanno come obiettivo la limitazione degli effetti dell'incendio nello spazio e nel tempo (garantire l'incolumità di passeggeri e autista, limitare gli effetti nocivi dei prodotti della combustione, contenere i danni a strutture dell' autobus, agli impianti, e ai beni e veicoli circostanti).

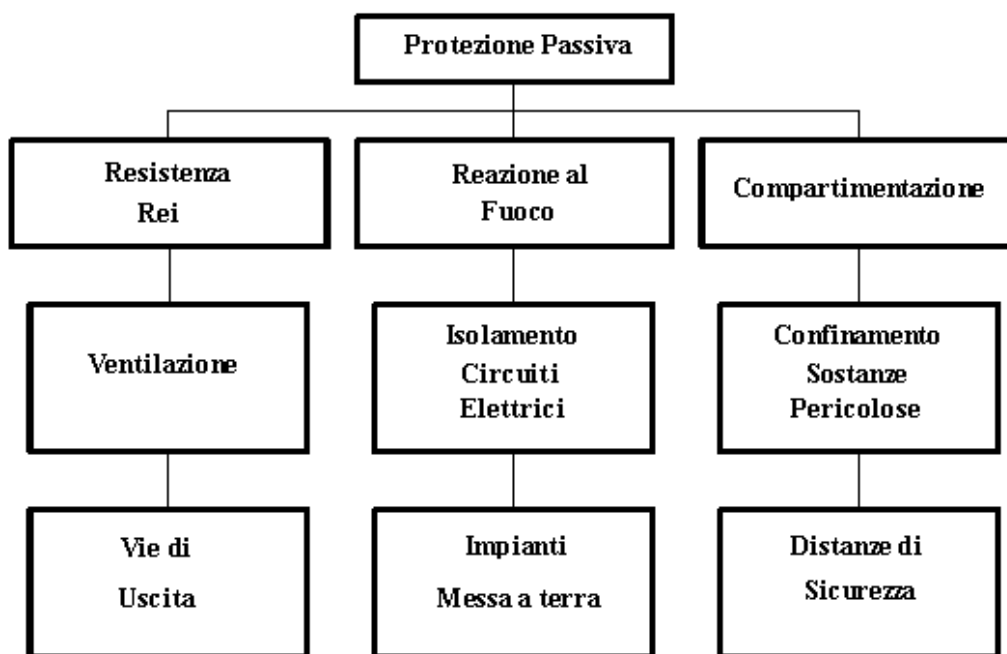



**Figura 41 :** ***La Protezione Passiva***

Le relative misure di protezione sono previste in sede di progettazione e i fini possono essere perseguiti con : compartimentazione del vano motore da quello passeggeri, isolamento degli impianti, specie quello elettrico, del serbatoio combustibile e delle condotte dei fluidi infiammabili quali oli idraulici e lubrificanti, barriere antincendio (che realizzate mediante interposizione di elementi strutturali hanno la funzione di impedire la propagazione degli incendi sia lineare con barriere locali che

tridimensionale con barriere totali), distanze di sicurezza (basate sul concetto dell' interposizione, tra aree potenzialmente soggette ad incendio, di spazi o di elementi al fine sempre di ridurne le conseguenze), paratie o diaframmi tagliafuoco, schermi etc., strutture aventi caratteristiche di resistenza al fuoco commisurate ai carichi d'incendio, materiali classificati per la reazione al fuoco, sistemi di ventilazione naturali per consentire la fuoriuscita dei fumi e del calore riducendo la propagazione, sistema di vie d'uscita (commisurate al massimo affollamento ipotizzabile in base al numero di passeggeri previsto e alla pericolosità dell'ambiente.

### 3.7.1 Comportamento al fuoco

Il comportamento al fuoco [63 a 66],{23} è l'insieme delle trasformazioni fisiche e chimiche di un materiale o di un elemento da costruzione sottoposto all'azione del fuoco e comprende due componenti distinti che si integrano a vicenda: la *resistenza al fuoco* e la *reazione al fuoco* : la prima riguarda gli elementi strutturali che in caso di incendio devono rispondere alla loro funzioni per un periodo di tempo determinato, la seconda riguarda il grado di partecipazione del materiale combustibile al fuoco.

#### *3.7.1.1 Reazione al fuoco*

Per reazione al fuoco {24 e 25},[67] che rientra nelle misure di protezione passiva, si intende il grado di partecipazione di un materiale al fuoco a cui viene sottoposto; in altre parole è un indice che esprime la capacità che ha un materiale (o un manufatto composito) di contribuire ad alimentare un incendio e quindi la facilità e le caratteristiche negative con cui brucia ma essa non tiene conto dei rischi derivanti dai fumi emessi dal materiale stesso nel processo di combustione. Per *materiale* si è inteso il

componente (o i componenti variamente associati) che può (o possono) partecipare alla combustione in dipendenza della propria natura chimica e delle effettive condizione di messa in opera per l'utilizzazione. E' comunque opportuno specificare che la classe di Reazione al Fuoco non è relativa al prodotto tal quale, ma è riferita al suo impiego e alla sua posa in opera. Ad esempio un tessuto può avere diversa "Classe" se impiegato come tendaggio o come rivestimento parete ovvero se viene posto in opera appoggiato o incollato su supporto incombustibile.

In Italia la reazione al fuoco è disciplinata dal **D.M. 26/06/1984**, "Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi" e dal successivo **D.M. 03/09/2001** che vi apporta alcune modifiche e aggiornamenti, adeguandolo alle direttive CEE : ai materiali incombustibili (i quali non danno alcun contributo all'incendio) viene attribuita la classe zero, a quelli combustibili le classi da uno a cinque (o addirittura non classificabile in qualche caso) all'aumentare della loro combustibilità e partecipazione alla combustione secondo la seguente tabella:

**Tabella 30 :** ***Classi di reazione al fuoco***

| Classe | Definizione |
|---|---|
| 0 | Materiale incombustibile |
| 1 | Materiale non infiammabile |
| 2 | Materiale difficilmente infiammabile |
| 3 | Materiale mediamente infiammabile |
| 4 | Materiale facilmente infiammabile |
| 5 | Materiale altamente infiammabile |

I metodi di prova (in Italia) per la determinazione delle classi di reazione al fuoco dei materiali, stabiliti dal **D.M. 26 /06/1984** modificato e integrato dal **D.M. 03/09/2001**, sono quelli di seguito riportati:

1) **UNI EN ISO 1182 (2005)** Prova di non combustibilità : ha lo scopo di verificare se un materiale non contribuisce minimamente allo sviluppo di un incendio o meno (e quindi se gli si può attribuire la classe zero oppure no), e consiste nell'immettere, all'interno di un piccolo forno alla temperatura di circa 825 °C, una provetta cilindrica (diametro 45 mm ed altezza 50 mm) per un tempo di trenta minuti, registrando gli innalzamenti delle temperature di alcune termocoppie poste in prossimità della provetta e verificando al contempo che non si sprigionino fiamme persistenti. Inoltre il **decreto del Ministero dell'Interno del 14/01/1985** viene attribuita classe zero ai seguenti materiali senza che siano sottoposti a prova di combustibilità : materiali da costruzione, compatti e espansi a base di ossidi metallici o di altri composti inorganici privi di leganti organici; materiali isolanti a base di fibre minerali prive di leganti organici; materiali costituiti da metalli con o senza finitura superficiale a base inorganica.

2) **UNI 8456 (1987)** Reazione al fuoco di materiali sospesi e suscettibili di essere investiti da una piccola fiamma su entrambe le facce : è applicabile a materiali che possono essere installati sospesi dall'alto (tendaggi, sipari, tendoni, drappeggi) e ha lo scopo di attribuire una categoria al materiale sulla base di vari parametri : tempo di post-combustione, tempo di post-incandescenza, zona danneggiata e gocciolamento di una provetta rettangolare (dimensioni 340 x 104 mm) posta verticalmente e sottoposta per 12 secondi all'azione di una piccola fiamma applicata al suo bordo inferiore.

3) **UNI 8457 (1987) e UNI 8457 A1 (1996)** Reazione al fuoco di materiali che possono essere investiti da una piccola fiamma su una sola faccia : è applicabile a materiali da rivestimento e per pavimenti, soffitti e ha lo scopo di attribuire una categoria al materiale sulla base di vari parametri: tempo di post-combustione, tempo di post-incandescenza,

zona danneggiata e gocciolamento di una provetta rettangolare (dimensioni 340 x 104 mm) posta verticalmente e sottoposta per 30 secondi all'azione di una piccola fiamma applicata su un lato della provetta.

4) **UNI 9174 (1987) e UNI 9174 A1 (1996)** Reazione al fuoco di materiali sottoposti all'azione di una fiamma d'innesco in presenza di calore radiante : è applicabile a tutti i materiali di cui ai due punti precedenti e ha lo scopo di attribuire una categoria al materiale sulla base di vari parametri: velocità di propagazione superficiale della fiamma, postcombustione, post-incandescenza, zona danneggiata e gocciolamento di una provetta rettangolare (dimensioni 800 x 155 mm) sottoposta all'azione di una fiamma d'innesco in presenza di calore radiante (6,2 $W/cm^2$) prodotto da una piastra porosa rettangolare (dimensioni 450 x 300 mm) alimentata con una miscela di gas e aria.

5) **UNI 9175 (1987) e UNI 9175 A1 (1994)** Reazione al fuoco di mobili imbottiti sottoposti all'azione di piccola fiamma : è applicabile ai mobili imbottiti ed assimilabili, quali poltrone, divani, materassi, guanciali, sommier. Ha lo scopo di attribuire una classe di reazione al fuoco al materiale sulla base dei risultati dell'azione di una sorgente d'ignizione costituita da un bruciatore a gas con altezza della fiamma pari a 40 mm posto nel punto d'incontro fra due provette poste a 90° l'una rispetto all'altra e simulanti una poltrona imbottita in piccola scala.

I suddetti metodi oltre che per i materiali di rivestimento e di arredo, vengono anche utilizzati per installazioni tecniche quali tubazioni di scarico, condotte di ventilazione e riscaldamento, canalizzazioni per cavi, isolamento di tubazioni e serbatoi, materiali o componenti isolanti, ecc., e non considerano l'emissione di fumi e di sostanze tossiche o nocive.

Inoltre bisogna anche considerare la **UNI 9176** che riguarda i metodi di preparazione dei materiali per l'accertamento delle caratteristiche di reazione al fuoco.

In questo ambito va anche considerata la Norma **UNI-ISO 3795**, secondo la **Direttiva 95/28/CE**, adottata dal Ministero dei Trasporti per la valutazione del comportamento alla combustione dei materiali non metallici impiegati per l'allestimento interno degli autobus, che prevede le seguenti prove dei materiali :

- ✓ determinazione della velocità di combustione orizzontale, che non deve superare il valore di 100 mm/minuto;
- ✓ determinazione del comportamento alla fusione, per cui non devono formarsi gocce che infiammino il cotone grezzo;
- ✓ determinazione della velocità di combustione verticale, che non deve superare il valore di 100 mm/minuto.

In particolare alla *prima prova* vanno sottoposti i materiali usati per l'imbottitura dei sedili e loro accessori, quelli usati per il rivestimento interno del tetto, del pavimento, delle pareti laterali, posteriori e di separazione, del vano bagagli ed inoltre i materiali aventi funzioni acustiche e termiche, di rivestimento delle tubazioni di riscaldamento e di ventilazione e quelli usati per i dispositivi di illuminazione. Alla *seconda prova* vanno sottoposti ancora i materiali usati per il rivestimento interno del tetto e del vano bagagli, quelli di rivestimento delle tubazioni di riscaldamento e di ventilazione situate nel tetto e quelli usate per i dispositivi di illuminazione situati nel vano bagagli e nel tetto. Alla *terza prova* infine vanno sottoposti i materiali usati per tende e tendine. Le due metodologie comportano delle differenze, ad esempio nel caso dei tendaggi, la norma **UNI-ISO 3795** prevede solo la valutazione della velocità di combustione mentre secondo il **DM 3/09/2001** sul materiale devono essere effettuate prove con i metodi **UNI 8456**, **UNI 9174** e **UNI**

**8174/A1**, che valutano il comportamento del materiale anche in presenza di calore radiante.

I **parametri** che determinano la classe di reazione al fuoco sono riportati di seguito:

- ✓ **Tempo di post-combustione** : è il tempo, espresso in secondi, che trascorre dal momento in cui si allontana la fiamma pilota dalla provetta fino al momento in cui la fiamma si estingue.
- ✓ **Tempo di post-incandescenza** : è il tempo, espresso in secondi, che trascorre dall'estinzione della fiamma sviluppata o, in assenza di questa, dall'allontanamento della fiamma pilota, fino alla completa scomparsa dell'incandescenza.
- ✓ **Zona danneggiata** : è l'estensione massima in lunghezza, espressa in mm, della parte di provetta che risulta combusta o fusa e che presenta degradazione delle caratteristiche meccaniche.
- ✓ **Gocciolamento** : tendenza di un materiale a lasciare cadere gocce e/o parti distaccate durante e/o dopo l'azione della sorgente di calore.
- ✓ **Velocità di propagazione della fiamma:** velocità con cui il fronte di fiamma avanza lungo la superficie della provetta espressa in millimetri al minuto, cioè la velocità con cui un materiale brucia.
- ✓ **Infiammabilità:** capacità di un materiale di prendere fuoco quando viene messo in contatto con una sorgente di ignizione e di permanere in questo stato di ignizione anche quando la sorgente viene allontanata.

In realtà il sistema di prova e classificazione descritto è stato recentemente aggiornato per il recepimento del sistema europeo di norme UNI EN relative alla classificazione reazione al fuoco dei prodotti da costruzione per cui il Ministero dell'Interno ha dovuto aggiornare le norme di prevenzione classificazione mediante due decreti :

1) il **DM 10/03/2005** “Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso d'incendio” introduce il nuovo sistema di prova e classificazione recependo i metodi di prova europei. Tale decreto prevede anche la possibilità di classificare taluni prodotti senza oneri di prova;
2) il **DM 15/03/2005** “Requisiti di reazione al fuoco dei prodotti da costruzione installati in attività disciplinate da specifiche disposizioni tecniche di prevenzione incendi in base al sistema di classificazione europeo” detta i criteri di accettazione delle nuove classi: laddove prima si era abituati alle vecchie classi italiane 0, 1, 2 etc. ora si avranno le Euroclassi.

Il campo di applicazione del decreto del 2005 è limitato ai soli “materiali da costruzione”, cioè ad ogni prodotto fabbricato al fine di essere incorporato o assemblato in modo permanente negli edifici e nelle altre opere di ingegneria civile; per cui visto che i prodotti che rientrano nella predetta definizione contenuta nella direttiva prodotti da costruzione e che sono omologati con la normativa italiana ai fini della reazione al fuoco, scopriamo che il numero di tali prodotti rappresenta solo il 30 % del totale dei materiali omologati. Pertanto, se per il 30% circa dei prodotti sarà necessario, a regime, applicare le nuove norme di prova europee per la loro classificazione, per il restante 70% dei prodotti che hanno rilievo ai fini della reazione al fuoco continuerà ad applicarsi la normativa italiana (D.M. 26 giugno 1984 e successive modifiche ed integrazioni).

In base al nuovo decreto i prodotti sono suddivisi secondo la seguente classificazione: **$A_1$**, che identifica il materiale con il migliore

comportamento al fuoco, e poi, in ordine decrescente (sempre per quanto attiene il loro comportamento all'incendio), **A2,B,C,D,E,F**. Tali classi sono contrassegnate dal pedice **Fl** qualora si riferiscano alla classificazione dei pavimenti e dal pedice **l** qualora si riferiscono alla classificazione di prodotti di forma lineare come quelli destinati all'isolamento termico di condutture. A tale classi va aggiunta l'ulteriore classificazione dei fumi **s** (smoke) e del gocciolamento **d** (dripping). Tali parametri sono suddivisi su tre livelli contraddistinti con la numerazione 0,1,2 in funzione della quantità di "sostanza" prodotta durante le prove. I materiali, nel sistema europeo, vengono differenziati in maniera molto più specifica rispetto al sistema italiano. Risulta pertanto difficile una trasposizione esatta tra i due metodi, con eccezione della corrispondenza tra classe A1 e classe 0 e i materiali non classificati :

- ✓ CLASSE 0 = CLASSE A1 ($A1_{FL}$, $A1_{L}$);
- ✓ CLASSE 1 = CLASSE A2 e CLASSE B con bassa produzione di fumo e gocce ardenti;
- ✓ CLASSE 2 = CLASSE A2 e CLASSE B con alta produzione di fumo e gocce ardenti, CLASSE C con bassa produzione di fumo e gocce ardenti;
- ✓ CLASSE 3 = CLASSE C con alta produzione di fumo e gocce ardenti e CLASSE D con bassa produzione di fumo e gocce ardenti;
- ✓ CLASSE 4 e 5 = CLASSE D con alta produzione di fumo e gocce ardenti e CLASSE E;
- ✓ MATERIALI NON CLASSIFICATI = CLASSE F.

I metodi di prova previsti dalla norma **UNI EN 13501-1** (sistema europeo), recepiti dal **D.M. 10/03/2005** per classificare un materiale ai fini della reazione al fuoco nell'ambito della marchiatura CE, sono cinque:

1) **UNI EN ISO 1182** Prova di non combustibilità : è praticamente lo stesso metodo già utilizzato in Italia, ma non è sufficiente da solo per determinare la non combustibilità di un materiale: è necessario comunque realizzare anche una prova con uno dei due metodi successivi.
2) **UNI EN ISO 1716** Determinazione del potere calorifico : è una prova mai utilizzata precedentemente in Italia nel settore della prevenzione incendi; definisce il potenziale termico di un materiale, cioè quanto calore è in grado di sviluppare qualora abbia la disponibilità di ossigeno.
3) **UNI EN 13823** (SBI, Single Burning Item) Prodotti da costruzione esclusi i pavimenti esposti ad un attacco termico prodotto da un singolo oggetto in combustione : è un metodo di prova totalmente nuovo, messo a punto appositamente dal CEN; si tratta di esporre all'azione di un bruciatore con potenza termica di circa 30 kW un campione di materiale simulante un angolo, con un incendio che vi si sviluppa all'interno; è una prova molto complessa nel corso della quale vengono misurati la produzione di calore e di fumo, oltre alla osservazione visiva della propagazione laterale della fiamma e l'eventuale distacco di gocce incandescenti.
4) **UNI EN ISO 11925-2** Piccola fiamma : è una prova molto simile a quella già utilizzata in Italia, con un'esposizione al fuoco che può essere di 30 oppure di 15 secondi a seconda dell'utilizzo del materiale.
5) **EN ISO 9239-1** Pannello radiante per pavimenti : è un metodo che si utilizza solo per i materiali da pavimento, utilizzando in sostanza un pannello radiante molto simile a quello utilizzato in

Italia, ma orientato con un angolazione rivolta verso il campione posto a pavimento.

### *3.7.1.2 Resistenza al fuoco*

Per resistenza al fuoco {26 a 28},[68 a 72] si intende l'attitudine di un elemento da costruzione (sia componente che struttura) a conservare, secondo un programma termico prestabilito e per un tempo determinato, la stabilità R, la tenuta E e/o l'isolamento termico I richiesti e così definiti :

- ✓ **stabilità R** : attitudine di un elemento da costruzione a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco;
- ✓ **tenuta E** : attitudine di un elemento da costruzione a non lasciar passare né produrre, se sottoposto all'azione del fuoco su un lato, fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto;
- ✓ **isolamento termico I** : attitudine di un elemento da costruzione a ridurre, entro un dato limite, la trasmissione del calore.

Pertanto si identifica col simbolo :

- ✓ **REI** : un elemento costruttivo che deve conservare, per un tempo determinato, la stabilità, la tenuta e l'isolamento;
- ✓ **RE** : un elemento costruttivo che deve conservare, per un tempo determinato, la stabilità e la tenuta;
- ✓ **R** : un elemento costruttivo che deve conservare, per un tempo determinato, la stabilità.

Per gli elementi non portanti, il criterio R è automaticamente soddisfatto qualora siano soddisfatti i criteri I ed E; gli elementi strutturali vengono inoltre classificati da un numero indicante, in minuti primi, il tempo durante il quale l'elemento costruttivo deve conservare, se esposto a un incendio standard nel forno sperimentale, le caratteristiche richieste. Il **D.M. 09/03/2007** fissa le seguenti classi di resistenza al fuoco : REI RE R

0 15 20 30 45 60 90 120 180 240 ( ad ex REI 15 indica che l'elemento costruttivo deve conservare stabilità, tenuta e isolamento termico per 15 minuti).

In definitiva la resistenza al fuoco rientra tra le fondamentali strategie di protezione passiva in caso di incendio e comprende sia la *capacità portante* delle strutture che la *capacità di compartimentazione* degli elementi. La prima va intesa, in caso di incendio, come l'attitudine delle strutture a conservare una sufficiente "resistenza meccanica" sotto l'azione del fuoco e con essa si mira ad evitare che un repentino collasso strutturale, dovuto all'azione del fuoco, possa causare danni agli occupanti durante tutta la loro permanenza prevista nell' ambiente e impedire o ritardare l'intervento delle squadre di soccorso e delle squadre antincendio nonché pregiudicare la loro sicurezza e impedire la funzionalità dei componenti e dei sistemi antincendio. La seconda è l'attitudine di un elemento da costruzione a conservare un sufficiente isolamento termico ed una sufficiente tenuta sotto l'azione del fuoco e con essa si mira a contenere l'incendio all'interno di un compartimento al fine da impedire l'estensione incontrollata dell'incendio ad altri ambienti, per consentire la fruibilità delle vie di esodo, per agevolare la lotta antincendio delle squadre di soccorso. La resistenza al fuoco è una strategia pensata essenzialmente per condizioni limiti di incendio, che si raggiungono in quella fase nota come "incendio generalizzato" il raggiungimento ha come presupposto il fallimento o il superamento di tutte le altre misure (preventive e protettive) e condizioni di alimentazione (materiale combustibile e comburente) tali da favorire il raggiungimento di temperature medie superiori ai 500-600 °C. Attraverso modelli matematici è possibile tracciare la "curva di incendio post flashover" che disegna un probabile andamento nel tempo delle temperature medie dei gas di combustione fino al raggiungimento delle

condizioni iniziali. Le esigenze di standardizzazione delle condizioni di incendio hanno tuttavia obbligato il legislatore ad individuare un riferimento comune riproducibile analiticamente e sperimentalmente che garantisca un sufficiente margine di sicurezza rispetto alla maggior parte degli incendi confinati. La "curva d'incendio nominale standard", un tempo nota come curva *ISO834*, costituisce da sempre il riferimento di base per la qualificazione di prodotti ed elementi costruttivi resistenti al fuoco. La curva, ritenuta eccessivamente severa per gli incendi in ambito civile, è probabilmente sottostimata per alcuni incendi in ambito industriale o in particolari condizioni estreme (vedi incendi in galleria), ma è di fatto la sola utilizzata per le prove di laboratorio finalizzate alla qualificazione dei prodotti. Per valutare la resistenza al fuoco delle strutture il **D.M. 16/02/2007** del Ministero dell'Interno prevede tre distinte metodologie:

- ✓ sperimentazione da parte di un laboratorio autorizzato
- ✓ metodo tabellare
- ✓ calcolo analitico.

Per quanto attiene alla **prove**, gli elementi da omologare vengono disposti in un forno, all'interno del quale la temperatura viene fatta crescere secondo una determinata curva tempo-temperatura e applicando il carico di progetto nel caso di elementi portanti; l'esposizione è solo sulla faccia esposta o su tutta la superficie laterale, a seconda che si tratti di elementi di separazione o interni al compartimento. Nel corso della prova si misura sia la variazione della temperatura sia l'incremento della deformazione. Durante tutto il periodo di prova per l'elemento in esame non si deve verificare : passaggio di fuoco o di fumo, aumento della temperatura sulla superficie opposta a quella esposta al fuoco oltre i 150 °C, la perdita di stabilità, mentre per gli elementi portanti la capacità di resistere ai massimi carichi ammissibili deve essere mantenuta per tutta la durata

della prova e l'elemento non deve emettere gas combustibili sulla faccia non esposta al fuoco. La prova dura finché risulti non più soddisfatta una delle tre caratteristiche prestazionali e qualora si voglia valutarle tutte si può continuare la prova fino al superamento dei rispettivi limiti; in ogni caso la resistenza determinata è solo teorica in quanto l'incendio reale dipende da molti fattori e in genere quella effettiva risulta maggiore.

Le **tabelle** costituiscono il risultato di campagne sperimentali ed elaborazioni numeriche di tipologie costruttive e materiali di maggior impiego che consentono una classificazione per gli elementi costruttivi resistenti al fuoco in cui ad esempio vengono riportati gli spessori minimi o le dimensioni sufficienti a garantire il requisito (REI,EI,R) per le classi indicate.

I c**alcoli**, infine, consentono la progettazione di elementi resistenti al fuoco prendendo in considerazione anche le interazioni con altri elementi e le condizioni di esposizione al fuoco sono definite in specifici regolamenti (ad ex UNI 9503 per l'acciaio, UNI 9504 per il legno).

Con il **decreto del Ministro dell'Interno 9 marzo 2007** è stato introdotto il concetto di livello di prestazione (5 livelli) da richiedere alla costruzione in relazione agli obiettivi di sicurezza da raggiungere.

**Tabella 31 :** ***Livelli di Prestazione***

| | |
|---|---|
| Livello I | Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze della perdita dei requisiti stessi siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile |
| Livello II | Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione |
| Livello III | Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza |
| Livello IV | Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione |
| Livello V | Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa |

Il livello III di prestazione è quello più generale in quanto può considerarsi adeguato per tutte le costruzioni rientranti nel campo di applicazione del provvedimento, fatti salvi i casi residuali in cui si ritengano necessari requisiti di resistenza al fuoco più severi. Le classi di resistenza al fuoco necessarie per garantire il livello III sono correlate al carico d'incendio specifico di progetto ($q_{f,d}$), che a sua volta è determinato secondo una nuova formula:

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f$$

dove il carico di incendio è espresso $MJ/m^2$.

In particolare, il termine $q_f$ rappresenta il valore del carico d'incendio specifico da determinarsi secondo la formula:

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^{n} g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A} \quad [\,MJ/m^2\,]$$

dove:

- ✓ $g_i$ è la massa dell'i-esimo materiale combustibile;
- ✓ $Hi$ è il potere calorifico inferiore dell'i-esimo materiale combustibile;
- ✓ $m_i$ è il fattore di partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile pari a 0,80 per il legno e altri materiali di natura cellulosica e 1,00 per tutti gli altri materiali combustibili;
- ✓ $\psi_i$ è il fattore di limitazione della partecipazione alla combustione dell' i-esimo materiale combustibile e deve essere assunto pari a 0 per i materiali in contenitori appositamente progettati per resistere al fuoco, 0,85 per i materiali in contenitori non combustibili e non appositamente progettati per resistere al fuoco, 1 in tutti gli altri casi;
- ✓ $A$ è la superficie in pianta lorda del compartimento.

Gli altri coefficienti presenti nella formula del carico di incendio specifico di progetto ($\delta_{q1}, \delta_{q2}, \delta_n$) assumono i seguenti significati con valori tabellati corrispondenti:

- ✓ $\delta_{q1}$ è un fattore che tiene conto del rischio di incendio correlato alla dimensione in pianta del compartimento;
- ✓ $\delta_{q2}$ è un fattore che tiene conto del rischio di incendio correlato alle caratteristiche dell'attività svolta nel compartimento;
- ✓ $\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$ è un fattore riduttivo del carico di incendio specifico che tiene conto delle misure di protezione previste nell'attività.

Una seconda importante novità è legata alla possibilità, offerta al progettista, di fare riferimento a diverse curve di incendio a seconda che il problema venga affrontato con metodi semplificati o metodi avanzati (questi ultimi fanno ricorso all'ingegneria antincendio). Nel primo caso il decreto definisce tre curve nominali di incendio (standard, dell'incendio esterno e degli idrocarburi) da utilizzare in relazione alla classe del compartimento. Nel secondo caso il progettista dovrà fare riferimento a curve di incendio naturali che rappresentano l'incendio per tutta la sua durata e che andranno determinate con vari metodi di complessità crescente con il grado di affinamento del calcolo. Con il **decreto del 16/02/2007 del Ministero dell'Interno** inoltre la resistenza al fuoco dei materiali e dei prodotti è valutata, oltre che con i "classici" parametri R, E ed I, anche in altri termini per cui complessivamente possiamo rappresentare le caratteristiche di resistenza al fuoco con la seguente tabella :

**Tabella 32 :** ***Caratteristiche di resistenza al fuoco***

| | | | |
|---|---|---|---|
| **R** | Capacità portante | **P o PH** | Continuità di corrente o<br>Capacità di segnalazione |
| **E** | Tenuta | **G** | resistenza all'incendio<br>della fuliggine |
| **I** | Isolamento | **K** | Capacità di protezione al fuoco |
| **W** | Irraggiamento | **D** | durata della stabilità a temperatura costante |
| **M** | Azioni meccanica | **DH** | durata della stabilità lungo la curva standard tempo-temperatura |
| **C** | Dispositivo automatico di chiusura | **F** | funzionalità degli evacuatori motorizzati di fumo e calore |
| **S** | Tenuta al fumo | **B** | funzionalità degli evacuatori naturali di fumo e calore |

### 3.7.2 Sistemi di vie d'uscita

Si tratta di una misura di protezione contro gli incendi che riveste un' importanza fondamentale specialmente per attività, come nel nostro caso, ad elevata densità di affollamento o per la eventuale presenza di persone aventi ridotte capacità motorie, per cui il dimensionamento e l' efficacia di tale misura risulta fondamentale per la salvaguardia e l'incolumità delle persone presenti. Gli elementi principali da tenere in considerazione nella progettazione del sistema di vie d'uscita sono : il dimensionamento e la geometria delle vie d'uscita [17],[20],[39],[73 e 74] sistemi di protezione attiva e passiva delle vie d'uscita, sistemi di identificazione continua delle vie d'uscita (segnaletica, illuminazione ordinaria e di sicurezza); inoltre il dimensionamento delle vie d'uscita dovrà tenere conto del massimo affollamento ipotizzabile nel mezzo cioè del massimo numero di persone presenti nel compartimento (prodotto tra densità di affollamento $\mathbf{D}_A$, in termini di persone al $m^2$ e superficie lorda del

pavimento del compartimento $\mathbf{S}_L$, in $m^2$, soggetto ad affollamento di persone) nonché della capacità d'esodo dell'autobus (numero di uscite, larghezza delle uscite, livello delle uscite rispetto al piano stradale). Tutti questi elementi hanno un fattore comune che è il **tempo di evacuazione** inteso come l'intervallo di tempo che intercorre fra l'inizio dell'ignizione e l'istante in cui le condizioni dell' abitacolo diventano intollerabili per la presenza di fumo, calore e gas tossici prodotti dalla combustione e definito come :

$$t_{ev} = t_p + t_r + t_a$$

con

- ✓ $\mathbf{t}_{ev}$ tempo di evacuazione;
- ✓ $\mathbf{t}_p$ tempo di percezione o di reazione : l'intervallo di tempo trascorso tra l'inizio incendio e la percezione dell'incendio;
- ✓ $\mathbf{t}_r$ tempo di ricognizione : intervallo di tempio trascorso dalla percezione dell' incendio all'inizio dell'azione di risposta;
- ✓ $\mathbf{t}_a$ tempo di azione : intervallo di tempo trascorso dall'inizio di risposta al raggiungimento di un luogo sicuro o spazio a cielo aperto, che risulta espressa dalla seguente :

$$\mathbf{t}_a = \mathbf{t}_{u1} + \mathbf{t}_i + \mathbf{t}_s + \mathbf{t}_{u2}$$

in cui :

- ✓ $\mathbf{t}_{u1}$ è il tempo per raggiungere l'uscita dell'autobus;
- ✓ $\mathbf{t}_i$ è il tempo trascorso per imboccare l'uscita;
- ✓ $\mathbf{t}_s$ è il tempo trascorso per il deflusso attraverso gli scalini;
- ✓ $\mathbf{t}_{u2}$ è il tempo per l' uscita in strada.

Si definisce inoltre il tempo di evacuazione disponibile come l' intervallo di tempo trascorso fra la percezione dell' incendio e l'istante in cui le condizioni del bus diventano intollerabili per l'uomo, che risulta pari a :

$$t_{evdisp} = t_r + t_a$$

poiché appunto il tempo di percezione $t_p$ non è un tempo di percezione a disposizione per l'evacuazione vera e propria in quanto si perde per la percezione dell' incendio.

Il tempo di evacuazione disponibile $t_{evdisp}$, che praticamente coincide con il tempo di evacuazione massimo ammissibile $t_{evamm}$, si assume pari a $60 \div 90$ secondi corrispondenti al tempo di esposizione massimo di una persona in una atmosfera interessata dai prodotti della combustione e dovrà risultare maggiore del tempo teorico di evacuazione $t_{evteorico}$ :

$$t_{evdisp} = t_{evamm} \geq t_{evteorico}$$

Le dimensioni delle vie di uscita, al fine di favorire l'evacuazione di emergenza e trasformare uno sfollamento precipitoso e disordinato in uno ordinato e direzionale, vengono quindi calcolate imponendo la condizione che il tempo di evacuazione calcolato risulti inferiore al tempo di evacuazione ammissibile :

$$t_{ev} \leq t_{evamm}$$

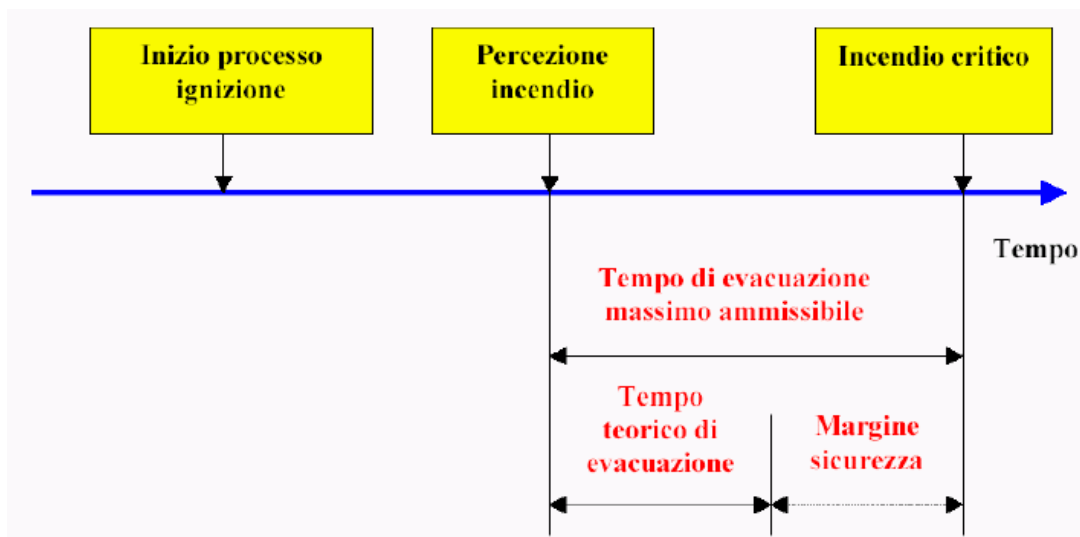



**Figura 42 :** ***Tempi di evacuazione***

La differenza tra il tempo ammissibile e quello teorico darà un margine di sicurezza che potrà ridursi attraverso una riduzione dei tempi di percezione (impianti di rilevazione e impianti di allarme) e del tempo di ricognizione ad esempio attraverso sistemi informativi e l'efficacia dei sistemi organizzativi.
Una formula empirica per il calcolo del tempo di evacuazione è fornita dal N.F.P.A. (National fire protection degli USA) :

$$\mathbf{t}_{ev} = \frac{P}{L \cdot C} + \frac{L_{max}}{V}$$

dove :

- ✓ $\mathbf{t}_{ev}$ : il tempo di evacuazione in secondi;
- ✓ **P** : numero di persone da evacuare;
- ✓ **L** : larghezza totale degli scalini e delle uscite in metri;
- ✓ **C** : coefficiente di circolazione pari a 1,3 pers/ms;
- ✓ $\mathbf{L}_{max}$: lunghezza in orizzontale dei percorsi di evacuazione compresi gli scalini;
- ✓ **V** velocità di circolazione in m/s (0,6 m/s per percorso in piano).

Le porte degli autobus al fine di un rapido smaltimento delle persone dovranno quindi avere dei sistemi di apertura semplici ed immediati non dovendo svolgere assolutamente una funzione tagliafuoco.

#### *3.7.2.1 D.M. del 18/04/77*

In base al **D.M. del 18/04/77** sulle caratteristiche costruttive degli autobus, in vigore alla data di immatricolazione degli autobus in esame, si possono definire le diverse vie di uscita in questo modo :

1) **Porta di servizio** : una porta usata dai passeggeri nelle normali condizioni d'impiego, con il conducente seduto.

2) **Doppia porta** : una porta che offra due o l'equivalente di due passaggi di accesso.

3) **Porta di emergenza** : una porta destinata ad essere usata come uscita dei passeggeri, in circostanze eccezionali e particolarmente in caso di pericolo.

4) **Finestrino di emergenza** : un finestrino non necessariamente munito di vetro, destinato ad essere usato come uscita per passeggeri solo in caso di pericolo.

5) **Doppio finestrino di emergenza** : un finestrino di emergenza che, diviso in due da una linea verticale immaginaria (o da un piano), presenta due parti conformi alle norme applicabili ad un finestrino di emergenza normale per quanto riguarda le dimensioni e l'accesso.

6) **Uscita di emergenza** : una porta o finestrino di cui ai punti 3), 4), 5), e le porte di servizio di cui ai punti 1) e 2), aventi i requisiti di porte di emergenza.

7) **Uscita** : le porte di servizio, le uscite di emergenza e le eventuali porte per l'accesso all' abitacolo del conducente.

Nel caso di autobus snodato ciascuna sezione rigida sarà considerata come veicolo separato agli effetti del calcolo del numero minimo di uscite di servizio e di emergenza. Il numero di passeggeri sarà determinato per l'elemento anteriore e per quello posteriore rispetto al piano verticale trasversale passante per il centro di articolazione.

Per gli autobus *urbani e suburbani* il numero minimo delle **porte di servizio** è il seguente :

**Tabella 33 :** ***Numero minimo porte di servizio***

| Numero di passeggeri (escluso il conducente) | Numero di porte di servizio |
| --- | --- |
| 17-60 | 2 |
| 61-95 | 3 |
| Oltre 95 | 4 |

Una doppia porta di servizio viene computata per due porte e le porte di servizio devono essere sistemate sulla fiancata destra. Quando è prescritta più di una porta di servizio, almeno una di esse deve essere sistemata in modo tale che la propria mezzeria cada nella metà anteriore del veicolo; nel caso di una sola porta doppia, tale condizione è rispettata anche se questa è sistemata tra gli assi del veicolo.

Per gli autobus *interurbani e gran turismo* deve esserci almeno una porta di servizio fino a 22 posti mentre per un numero di posti superiore, devono esserci almeno due porte e precisamente: una porta di servizio ed una di emergenza, ovvero due porte di servizio; le porte di servizio devono essere sistemate sulla fiancata destra; una doppia porta di servizio viene computata per due porte di servizio; qualora si abbia più di una porta di servizio, almeno una di esse deve essere sistemata in modo tale che la propria mezzeria cada nella metà anteriore del veicolo; nel caso di una sola porta doppia, tale condizione è rispettata anche se questa è sistemata fra gli assi del veicolo.

Per gli *autobus privati* si applicano le disposizioni degli autobus interurbani.

Per i *minibus in servizio pubblico* è ammessa una sola porta di servizio situata sulla fiancata destra.

Per i *minibus privati* è ammessa una sola porta di servizio come per i Minibus in servizio pubblico ovvero sulla parete posteriore del veicolo.

Per gli *scuolabus e miniscuolabus* è consentita una sola porta di servizio posta sulla fiancata destra azionabile di norma dal posto di guida e qualora quest'ultima prescrizione non sia soddisfatta deve essere previsto, in prossimità della porta, un sedile per adulto, anche pieghevole.

Il numero minimo di **uscite d'emergenza** per autobus, scuolabus e miniscuolabus deve essere il seguente :

**Tabella 34 :** ***Numero di uscite di emergenza***

| Numero di passeggeri (escluso il conducente) | Numero di uscite di emergenza |
|---|---|
| Fino a 22 | 3 |
| 23-35 | 4 |
| Oltre 35 | 5 |

una doppia porta d'emergenza viene computata per due porte d'emergenza, ed un doppio finestrino d'emergenza per due finestrini d'emergenza; quando l'abitacolo del conducente non comunica con l'interno del veicolo, ovvero non esista un idoneo passaggio al compartimento viaggiatori, l'abitacolo stesso deve presentare due uscite, che non devono trovarsi sulla stessa fiancata; se una di queste uscite è un finestrino, questo deve rispondere ai requisiti indicati al punto per i finestrini d'emergenza; le uscite d'emergenza sulle fiancate devono essere ripartite in modo che i rispettivi numeri non differiscano per più di un' unità. Quando le due porte di servizio ed emergenza degli interurbani si trovano entrambe sulla fiancata destra, deve esistere un numero uguale di uscite sulla fiancata sinistra; le uscite d'emergenza situate su una stessa fiancata del veicolo devono essere distribuite regolarmente sulla lunghezza del veicolo stesso; è ammessa la sistemazione di una porta o finestrino di emergenza sulla parete posteriore del veicolo.
I Minibus devono presentare almeno tre uscite d'emergenza, in ogni caso ciascun passeggero deve avere accesso almeno a 2 uscite d'emergenza situate su fiancate opposte.

##### *3.7.2.1.1 Porte di servizio*

Per tutte le porte di servizio comandate a distanza dal conducente (telecomandate) può essere installato, sia all'interno che all'esterno del veicolo, anche un comando di apertura presso la porta che esso aziona previo consenso del conducente stesso. Il comando esterno deve essere

opportunamente incassato; affinché una porta di servizio telecomandata possa essere considerata uscita d'emergenza, deve essere installato all'interno un dispositivo meccanico di consenso all'apertura manuale della porta, in prossimità del vano porta. Detto dispositivo di consenso verniciato in rosso deve essere piombato o sottovetro; le porte telecomandate debbono essere realizzate in modo tale che, quando sono completamente chiuse, non possano aprirsi sotto la pressione dei passeggeri eventualmente appoggiati, anche in mancanza di forza motrice del servocomando; il bordo libero delle porte telecomandate deve essere dotato di una guarnizione cedevole ed elastica. Per i veicoli destinati al servizio pubblico urbano e suburbano la distanza tra due elementi rigidi affacciati in posizione di chiusura, deve essere almeno di 100 mm; la regolare chiusura delle porte telecomandate deve poter essere controllata mediante lampade-spia da parte del conducente; le porte di servizio non telecomandate devono poter essere facilmente aperte dall'interno e dall'esterno del veicolo. Il bloccaggio della chiusura dall'interno è consentito; il comando od il dispositivo di apertura della porta dall'esterno non deve risultare a più di 1800 mm dal suolo con il veicolo scarico, fermo su un terreno orizzontale; le porte a cerniera a battente unico devono aprirsi dal dietro verso l'avanti; le serrature delle porte con chiusura a scatto devono essere del tipo a due posizioni di bloccaggio. In ogni caso, non deve essere possibile l'apertura involontaria della porta; ad esempio la maniglia interna deve essere ruotata verso l'alto per aprire la porta; sulla parte interna della porta non vi devono essere dispositivi destinati a mascherare i gradini interni, quando la porta è chiusa; se la visibilità diretta non è sufficiente, devono essere installati dispositivi ottici atti a permettere al guidatore di vedere chiaramente, dal proprio sedile, le zone circostanti interne ed esterne delle singole porte di servizio.

*3.7.2.1.2 Porte di emergenza*

Le porte d'emergenza non telecomandate devono potersi aprire facilmente dall'interno e dall'esterno. Tuttavia non si esclude la possibilità di bloccaggio della porta dall'esterno, a condizione che questa possa essere aperta dall'interno mediante il sistema normale di apertura; le porte di emergenza non devono essere del tipo a servocomando né del tipo scorrevole, a meno che non sia installato all'interno un dispositivo meccanico di consenso all' apertura manuale della porta in prossimità del vano porta, detto *dispositivo di consenso* verniciato in rosso deve essere piombato o sottovetro; la maniglia esterna delle porte di emergenza non telecomandate non deve trovarsi ad oltre 1800 mm dal suolo; le porte di emergenza a cerniera sulla fiancata devono aprirsi dal dietro verso l'avanti. Le porte possono essere munite di cinghie, catene, o altri dispositivi di ritegno, purché gli stessi non impediscano che le porte si aprano e rimangano aperte per almeno 100°. Ciascuna porta deve poter essere mantenuta nella posizione aperta, da un dispositivo appropriato anche nel caso in cui il veicolo sia adagiato sul fianco opposto; le porte di emergenza devono aprirsi verso l'esterno ed essere costruite in modo che il rischio di un loro bloccaggio sia minimo anche se la carrozzeria del veicolo è stata deformata da un urto; la porta del conducente è considerata come una porta di emergenza, quando l'abitacolo è comunicante con il comparto passeggeri e non vi sia più di un sedile affiancato al posto di guida.

*3.7.2.1.3 Finestrini d'emergenza*

Tutti i finestrini di emergenza devono essere dotati di un idoneo sistema di espulsione, ovvero devono poter essere manovrati facilmente e rapidamente, dall'interno e dall'esterno del veicolo mediante un idoneo sistema di sgancio, oppure devono essere in vetro di sicurezza facile da

rompersi mediante appositi utensili sistemati all'interno in prossimità di ogni uscita. In quest'ultimo caso non è ammesso l'impiego di vetri stratificati o di materiale plastico; se il finestrino d'emergenza è del tipo oscillante verso l'alto su cerniera orizzontale, esso deve poter essere mantenuto in posizione aperta da un opportuno dispositivo di ritegno; l'altezza tra il bordo inferiore di un finestrino d'emergenza, ed il pavimento immediatamente sottostante non deve superare i 1000 mm; né essere inferiore a 500 mm. Tale altezza potrà tuttavia essere inferiore, se il vano del finestrino è protetto adeguatamente fino all'altezza di 500 mm per impedire la caduta di passeggeri fuori del veicolo.

#### *3.7.2.1.4 Iscrizioni*

I finestrini di emergenza devono essere segnalati all'interno ed all'esterno dalla scritta «uscita d'emergenza». I dispositivi d'emergenza delle porte di servizio e di tutte le altre uscite d'emergenza devono essere segnalati come tali, ed in prossimità degli stessi devono essere riportate norme chiare concernenti il relativo impiego.

#### *3.7.2.1.5 Accessibilità.*

L' accesso alle porte di servizio e alle porte di emergenza deve essere progettato e sistemato in modo da permettere il libero passaggio dell'apposita sagoma. In tabelle di unificazione definitive sono stabilite le dimensioni di detta sagoma, in relazione alla categoria del veicolo, e la procedura di verifica.

#### *3.7.2.2 Successivi D.M.*

Con il **D.M. del 13/06/85** si definisco invece le caratteristiche costruttive degli autobus a due piani e degli autosnodati a tre assi.

Con il **D.M. del 18/07/86** si tiene invece conto del nuovo tipo di classificazione degli autobus (snodato, lungo, normale, medio, corto e cortissimo)

Con il **D.M.2-10-1987** si definiscono invece le caratteristiche degli «autobus e minibus destinati al trasporto di persone a ridotta capacità motoria anche non deambulanti» ed «autobus, minibus ed autobus snodati con posti appositamente attrezzati per persone a ridotta capacità motoria».

Con il **D.M. 20-6-2003** si ha infine il recepimento della direttiva 2001/85/CE 20 novembre 2001, del Parlamento europeo e del Consiglio e della rettifica, concernente le disposizioni speciali da applicare ai veicoli adibiti al trasporto passeggeri aventi più di otto posti a sedere oltre al sedile del conducente e si tiene conto della classificazione vigente in base alla quale si intende per :

- ✓ **porta di accesso** : una porta destinata ad essere utilizzata dai passeggeri in condizioni normali, con il conducente seduto al posto di guida;
- ✓ **doppia porta** : una porta che offre l'accesso a due, o l'equivalente di due persone;
- ✓ **porta scorrevole** : una porta che può essere aperta o chiusa unicamente facendola scorrere lungo una o più guide rettilinee o quasi rettilinee;
- ✓ **porta di sicurezza** : una porta destinata ad essere utilizzata dai passeggeri per scendere dal veicolo unicamente in casi eccezionali e soprattutto in caso di pericolo;
- ✓ **finestrino di sicurezza** : un finestrino, non necessariamente vetrato, destinato ad essere utilizzato dai passeggeri per uscire dal veicolo unicamente in caso di pericolo;

- ✓ **doppio finestrino o finestrino multiplo** : un finestrino di sicurezza che, se diviso in due o più parti da linee (o piani) verticali immaginari, presenta due o più parti, ciascuna delle quali è conforme alle prescrizioni relative alle dimensioni e all'accesso di un normale finestrino di sicurezza;
- ✓ **botola di evacuazione** : un'apertura sul tetto o sul pavimento destinata ad essere utilizzata dai passeggeri come uscita di sicurezza unicamente in caso di pericolo;
- ✓ **uscita di sicurezza** : una porta di sicurezza, un finestrino di sicurezza o una botola di evacuazione;
- ✓ **uscita** : una porta di accesso, una scala interna o una mezza scala o un'uscita di sicurezza;
- ✓ **porta di accesso servocomandata** : una porta di accesso che può essere azionata unicamente mediante l'uso di energia diversa dalla forza muscolare e la cui apertura e chiusura sono, se non automatiche, comandate a distanza dal conducente o dal personale di servizio;
- ✓ **porta di accesso automatica** : una porta di accesso servocomandata, a chiusura automatica, apribile (indipendentemente dai comandi di sicurezza) solo se azionata da un passeggero e dopo che il conducente ne abbia attivato i comandi e che si richiude poi automaticamente;

*3.7.2.2.1 Numero di uscite*

Il veicolo ha almeno due porte, vale a dire due porte di accesso o una porta di accesso e una porta di sicurezza. Il numero minimo di porte di accesso è il seguente:

**Tabella 35 :** ***Numero minimo di porte di accesso***

| Numero di passeggeri | Numero di porte di accesso | | |
|---|---|---|---|
| | Classi I e A | Classe II | Classi III e B |
| 9-45 | 1 | 1 | 1 |
| 46-70 | 2 | 1 | 1 |
| 71-100 | 3 | 2 | 1 |
| > 100 | 4 | 3 | 1 |

Ai fini di tale prescrizione, le porte di accesso munite di un sistema di servocomando non sono considerate porte di sicurezza a meno di poter essere facilmente aperte manualmente dopo che un opportuno comando sia stato, se necessario, attivato. Il numero minimo di uscite è stabilito come segue:

**Tabella 36 :** ***Numero minimo di uscite***

| Numero di passeggeri e di membri dell'equipaggio sistemati in ciascun vano | Numero minimo totale |
|---|---|
| 1-8 | 2 |
| 9-16 | 3 |
| 17-30 | 4 |
| 31-45 | 5 |
| 46-60 | 6 |
| 61-75 | 7 |
| 76-90 | 8 |
| 91-110 | 9 |
| 111-130 | 10 |
| > 130 | 11 |

Le botole di evacuazione contano soltanto per una delle uscite di sicurezza sopraindicate. Ciascuna delle parti rigide di un veicolo snodato è considerata come un singolo veicolo ai fini della determinazione del numero minimo e dell'ubicazione delle uscite. Una doppia porta di accesso conta per due porte e un finestrino doppio o multiplo per due finestrini di sicurezza.

I veicoli delle classi II, III e B sono dotati, oltre che di porte e di finestrini di sicurezza, di botole di evacuazione. Queste ultime possono essere installate anche nei veicoli delle classi I e A.

Il numero minimo di botole è stabilito come segue:

**Tabella 37 :** ***Numero minimo di botole***

| Numero di passeggeri | Numero di botole |
|---|---|
| non superiore a 50 | 1 |
| superiore a 50 | 2 |

*3.7.2.2.2 Ubicazione delle uscite*

I veicoli con una capacità superiore a 22 passeggeri devono soddisfare le prescrizioni che seguono. I veicoli la cui capacità non superi 22 passeggeri possono soddisfare le prescrizioni che seguono oppure quelle specifiche.

La porta o le porte di accesso devono essere situate sul lato del veicolo corrispondente al senso di circolazione stradale del paese in cui il veicolo sarà immesso in circolazione ed almeno una di esse deve essere situata nella metà anteriore del veicolo. Nella parte posteriore del veicolo può tuttavia essere prevista una porta per consentire l'accesso dei passeggeri su sedia a rotelle. Le uscite devono essere equamente distribuite su ciascuno dei due lati del veicolo. Almeno una delle uscite di sicurezza deve trovarsi nella parte posteriore o in quella anteriore del veicolo. Per i veicoli di classe I e per i veicoli muniti di una parte posteriore che costituisce un vano mai accessibile ai passeggeri tale prescrizione è soddisfatta se il veicolo è munito di una botola di evacuazione. Le uscite che si trovano sullo stesso lato del veicolo devono essere adeguatamente distribuite sulla lunghezza del veicolo. Qualora il veicolo sia munito di botole di evacuazione, queste devono essere situate nel modo seguente: se vi è una sola botola, questa deve trovarsi nel terzo mediano del veicolo; se le botole sono due, queste devono essere separate da una distanza minima di 2 metri, misurata tra i bordi più vicini delle aperture, su una linea parallela all'asse longitudinale del veicolo.

### 3.7.2.2.3 *Dimensioni minime delle uscite*

I vari tipi di uscite devono avere le dimensioni minime seguenti:

**Tabella 38 : *Dimensioni minime uscite***

| | | Classe I | Classi II e III | Osservazioni |
|---|---|---|---|---|
| Porta di accesso (vano) | Altezza (mm) | 1 800 | 1 650 | --- |
| | Larghezza (mm) | porta singola:<br>doppia porta: | 650<br>1 200 | La dimensione può ridursi di 100 mm se la misurazione si effettua a livello delle maniglie |
| Porta di sicurezza | Altezza (mm)<br>Larghezza (mm) | 1 250<br>550 | | --- |
| Finestrino di sicurezza | Superficie: (mm2) | 400 000 | | Tale superficie deve poter contenere un rettangolo di 500 mm x 700 mm |
| Finestrino di sicurezza situato nella parte posteriore del veicolo, se il costruttore non ha previsto un finestrino di sicurezza delle dimensioni minime sopradescritte | | L'apertura del finestrino di sicurezza deve poter contenere un rettangolo di 350 mm di altezza e 1 550 mm di larghezza; gli angoli del rettangolo possono essere arrotondati con un raggio massimo di curvatura di 250 mm. | | |
| Botola di evacuazione (Vano) | Superficie (mm2) | 400 000 | | Tale superficie deve poter contenere un rettangolo di 500 mm x 700 mm |

### 3.7.2.2.4 *Prescrizioni tecniche relative alle porte di accesso*

Le porte di accesso devono poter essere aperte facilmente dall'interno e dall'esterno di un veicolo in sosta. I comandi o i dispositivi di apertura dall'esterno di una porta di accesso si trovano a un'altezza compresa tra 1000 e 1500 mm dal suolo e a non più di 500 mm dalla porta. Nei veicoli delle classi I, II e III, i comandi e i dispositivi di apertura dall'interno di una porta di accesso si trovano a un'altezza compresa tra 1000 e i 1500 mm dal pavimento o dal gradino più vicino al comando e a non più di 500 mm dalla porta. La presente prescrizione non si applica ai comandi collocati nella zona del conducente. Le porte di accesso singole e ad apertura manuale incernierate o imperniate sono concepite in modo tale

che tendano a chiudersi se entrano in contatto con un oggetto fisso quando il veicolo si muove in avanti. Le porte che si aprono verso l'interno del veicolo e i relativi meccanismi sono costruiti in modo che, in condizioni normali di impiego, il loro movimento non sia pericoloso per i passeggeri. Se necessario, sono installati adeguati dispositivi di protezione.

In caso di pericolo, le *porte di accesso servocomandate* devono, quando il veicolo è in sosta, poter essere aperte dall'interno e, quando non sono bloccate, anche dall'esterno mediante comandi che neutralizzino tutti gli altri comandi della porta; se si trovano all'interno, siano collocati sulla porta o entro 300 mm, dalla stessa, ad un'altezza non inferiore a 1 600 mm sopra il primo gradino; siano facilmente visibili e chiaramente reperibili da una persona che si avvicini alla porta o che si trovi in piedi di fronte ad essa e, se aggiuntivi rispetto ai normali comandi di apertura rechino un'indicazione chiara per l'uso in caso di pericolo; possano essere azionati da una sola persona che si trova in piedi immediatamente di fronte alla porta; provochino l'apertura della porta o ne rendano possibile l'apertura manuale con facilità; siano eventualmente protetti da un elemento che possa essere facilmente rimosso o infranto per raggiungere il comando di emergenza; il funzionamento del comando di emergenza, oppure la rimozione della protezione posta sul comando stesso, sono segnalati al conducente da un dispositivo sonoro ed ottico; nel caso di una porta azionata dal conducente e non conforme alle prescrizioni, siano concepiti in modo che, dopo che sono stati azionati per aprire la porta e sono ritornati nella loro posizione normale, la porta non si richiuda fino a quando il conducente non abbia azionato un comando di chiusura.

Tutte le porte di accesso servocomandate e il relativo sistema di comando sono concepiti in modo da evitare che i passeggeri vengano feriti da una

porta o bloccati in una porta che si sta chiudendo. Questa prescrizione è considerata soddisfatta se sono rispettate le seguenti due condizioni:

- ✓ la prima condizione è quando alla chiusura della porta, in qualsiasi punto di misurazione si oppone una forza di bloccaggio inferiore a 150 N, la porta deve riaprirsi automaticamente e completamente e, ad eccezione delle porte di accesso ad apertura automatica, rimanere aperta sino a quando viene azionato un comando di chiusura.
- ✓ la seconda condizione è che qualora le porte si richiudano sul polso o sulle dita del passeggero: la porta si riapra automaticamente e completamente e, ad eccezione delle porte di accesso ad apertura automatica, rimanga aperta fino a quando viene azionato un comando di chiusura, oppure il passeggero possa estrarre rapidamente il polso e le dita dalla porta senza ferirsi.

Dopo che i comandi di apertura sono stati attivati dal conducente, i passeggeri devono poter aprire la *porta di accesso automatica* come segue:

- ✓ dall'interno ad esempio premendo un pulsante o passando attraverso una cellula fotoelettrica;
- ✓ dall'esterno, eccetto quando una porta serve unicamente come uscita ed è indicata come tale, ad esempio premendo un pulsante luminoso, un pulsante situato sotto un segnale luminoso o un dispositivo analogo accompagnato dalle opportune istruzioni. .

Dopo essersi aperta, una porta di accesso automatica si richiude automaticamente dopo un certo intervello di tempo. Se un passeggero sale o scende dal veicolo durante questo periodo, un dispositivo di sicurezza (ad esempio un contatto sul predellino, una cellula fotoelettrica, un cancelletto a senso unico) assicura che la porta si richiuda dopo un periodo sufficientemente lungo.

*3.7.2.2.5 Prescrizioni tecniche relative alle porte di sicurezza*

Le porte di sicurezza devono poter essere aperte facilmente dall'interno e dall'esterno del veicolo in sosta. Tuttavia, questa prescrizione non deve essere interpretata come un'esclusione della possibilità di bloccare la porta dall'esterno, purché quest'ultima possa essere sempre aperta dall'interno utilizzando il normale sistema di apertura. Le porte di sicurezza, quando sono utilizzate come tali, non sono servocomandate a meno che, dopo l'azionamento di un opportuno comando e il suo ritorno in posizione naturale, le porte non si chiudano fino a che il conducente non abbia azionato il comando di chiusura. Esse non sono inoltre del tipo scorrevole, ad eccezione dei veicoli la cui capacità non supera 22 passeggeri: per tali veicoli infatti, può essere accettata come porta di sicurezza una porta scorrevole di cui si sia dimostrato che può essere aperta senza l'ausilio di attrezzi dopo una prova d'urto frontale contro una barriera, conformemente alla ***direttiva 70/156/CEE***.

I comandi o i dispositivi di apertura dall'esterno di una porta di sicurezza si trovano a un'altezza compresa tra 1000 e 1500 mm dal suolo e a non più di 500 mm dalla porta. Nei veicoli delle classi I, II e III, i comandi e i dispositivi di apertura dall'interno di una porta di scurezza si trovano a un'altezza compresa fra i 1000 e i 1500 mm dal pavimento o dal gradino più vicino al comando e a non più di 500 mm dalla porta. La presente prescrizione non si applica ai comandi collocati nella zona del conducente.

Le cerniere delle porte di sicurezza laterali a cerniera sono montate sul bordo anteriore della porta e le porte si aprono verso l'esterno. Le porte possono essere munite di cinghie, catene o altri dispositivi di trattenuta, purché non impediscano alla porta di aprirsi e di rimanere aperta a un angolo di almeno 100°. Questa prescrizione non si applica se il veicolo è dotato di un sistema che offre libero accesso alla porta di sicurezza. Le

porte di sicurezza non devono poter essere aperte inavvertitamente. Tuttavia, questa prescrizione non si applica se la porta di sicurezza si blocca automaticamente quando il veicolo si muove ad una velocità superiore a 5 km/h.

*3.7.2.2.6 Prescrizioni tecniche relative ai finestrini di sicurezza*

I finestrini di sicurezza eiettabili o a cerniera si aprono verso l'esterno. I finestrini eiettabili non si staccano completamente dal veicolo quando sono aperti e non devono poter essere aperti per inavvertenza. I finestrini di sicurezza devono:

- ✓ poter essere immediatamente e facilmente aperti dall'interno e dall'esterno del veicolo utilizzando un dispositivo considerato adeguato.
- ✓ oppure essere costituiti da vetro di sicurezza frangibile. Ai sensi della presente disposizione, è vietata l'utilizzazione di vetri stratificati o di materia plastica. I finestrini sono muniti di un dispositivo che consenta di infrangerli, situato accanto agli stessi e facilmente accessibile ai passeggeri.

I finestrini di sicurezza che possono essere bloccati dall'esterno sono costruiti in modo da poter essere aperti in qualsiasi momento dall'interno del veicolo. I finestrini di sicurezza a cerniera orizzontale montati sul bordo superiore sono muniti di un adeguato dispositivo che li mantenga completamente aperti; essi si aprono in modo da lasciar libero il passaggio dall'interno e dall'esterno del veicolo. L'altezza del bordo inferiore di un finestrino laterale di sicurezza dal pavimento sottostante (escluse determinate variazioni, dovute alla presenza del passaruota o della protezione della trasmissione), è compresa tra 1200 mm per i finestrini di sicurezza a cerniera, o tra

1200 mm per i finestrini costituiti da vetro frangibile. Tuttavia, nel caso di un finestrino di sicurezza a cerniera, l'altezza del bordo inferiore da pavimento può essere ridotta fino a 500 mm purché l'apertura del finestrino sia munita fino ad un'altezza di 650 mm di un dispositivo di protezione per impedire la caduta di un passeggero dal veicolo. Se l'apertura del finestrino è munita di detta protezione, le dimensioni dell'apertura sopra la protezione stessa non sono inferiori a quelle minime prescritte per un finestrino di sicurezza. I finestrini di sicurezza a cerniera non chiaramente visibili dal sedile del conducente sono muniti di un dispositivo acustico che indica al conducente che il finestrino non è completamente chiuso. Il dispositivo di chiusura del finestrino, e non il movimento del finestrino stesso, aziona il dispositivo acustico.

##### *3.7.2.2.7 Prescrizioni tecniche sulle botole di evacuazione*

Le botole di evacuazione sono azionate in modo da non ostruire il libero passaggio dall'interno o dall'esterno del veicolo. Le botole di evacuazione ubicate sul tetto sono non eiettabili, a cerniera o di vetro di sicurezza frangibile. Le botole ubicate sul pavimento sono a cerniera o eiettabili e munite di un dispositivo sonoro che segnala al conducente quando la botola non è completamente chiusa. Il dispositivo sonoro è azionato dal dispositivo di chiusura delle botole di evacuazione ubicate sul pavimento, e non dal movimento della botola stessa. Le botole di evacuazione ubicate sul pavimento non devono essere aperte inavvertitamente. Tuttavia, questa prescrizione non si applica se la botola ubicata sul pavimento si blocca automaticamente quando il veicolo si muove a una velocità superiore a 5 km/h. I tipi di botola eiettabili non devono potersi staccare completamente dal veicolo quando azionati, di modo che la botola non costituisca un pericolo per gli altri utenti della strada. Le

botole di evacuazione eiettabili non si aprono se spinte inavvertitamente. Quelle ubicate sul pavimento sono eiettate solo all'interno del vano passeggeri. Le botole di evacuazione a cerniera sono incernierate lungo il bordo rivolto verso la parte anteriore o posteriore del veicolo e si aprono ad un angolo di almeno 100 gradi. Quelle ubicate sul pavimento si aprono verso l'interno del vano passeggeri. Le botole di evacuazione devono poter essere facilmente aperte o rimosse dall'interno e dall'esterno. Tuttavia, questa prescrizione non deve essere interpretata come un'esclusione della possibilità di bloccare la botola allo scopo di chiudere un veicolo incustodito, purché la stessa possa sempre essere aperta o rimossa dall'interno per mezzo di un normale meccanismo di apertura o di rimozione. Le botole costituite da vetro frangibile sono munite di un dispositivo che consente di infrangerlo, situato nelle adiacenze e facilmente accessibile ai passeggeri all'interno del veicolo.

*3.7.2.2.8 Iscrizioni*

Le uscite di sicurezza sono segnalate, all'interno e all'esterno del veicolo, da una scritta di questo tipo: uscita di sicurezza o emergency exit. I comandi di sicurezza delle porte di accesso e delle uscite di sicurezza devono essere segnalate come tali all'interno e all'esterno del veicolo da un simbolo rappresentativo o da una scritta formulata in chiari termini. Su tutti i comandi delle uscite di sicurezza, o in vicinanza, devono essere apposte istruzioni chiare sul modo di funzionamento.

*3.7.2.2.9 Accessibilità*

L' accesso alle porte, alle porte di sicurezza, ai finestrini di sicurezza, alle botole di evacuazione nel tetto e nel pavimento deve essere progettato e sistemato in modo da permettere il libero passaggio dell'apposita sagoma. In tabelle di unificazione definitive sono stabilite le dimensioni di detta sagoma, in relazione alla categoria del veicolo e la procedura di verifica.

## 3.8 COMPARTIMENTAZIONE

La compartimentazione degli ambienti con strutture resistenti al fuoco è indubbiamente una delle tecniche più valide per contenere la propagazione dell'incendio e di frazionamento del rischio [26],[39],[50],[60],{28}. Mentre nella fase di innesco dell'incendio si è interessati al comportamento dei materiali e alla loro capacità di sviluppare le fiamme per impedirne la nascita, nella fase di incendio sviluppato (post flash over) assume fondamentale importanza il contenimento delle fiamme all'interno delle varie compartimentazioni per consentire l'esodo delle persone e di conseguenza la capacità dei materiali di resistere alle fiamme e di isolare i locali incendiati a protezione di quelli ancora integri. In sostanza attraverso di essa si pone l'obiettivo di ridurre l'impatto di eventuali incendi assicurando che il veicolo venga progettato, realizzato e gestito in modo da garantire:

- ✓ stabilità degli elementi portanti per un tempo utile ad assicurare il soccorso agli occupanti;
- ✓ limitata propagazione del fuoco e dei fumi, anche riguardo alle opere vicine;
- ✓ possibilità che gli occupanti lascino il veicolo indenni o che gli stessi siano soccorsi in altro modo;
- ✓ possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

Nasce quindi l'esigenza di uno studio completo sulla nascita e sullo sviluppo dell'incendio, con lo scopo finale di consentire l'utilizzo di materiali sempre più idonei alla sicurezza degli ambienti nei quali vengono installati e costruire dei *compartimenti* (parti di un ambiente che hanno lo scopo di confinare l'incendio evitandone la propagazione alle zone e ai compartimenti adiacenti per un determinato periodo di tempo,

ad ex fino all'esaurimento dei materiali combustibili contenuti o fino al sopraggiungere dei Vigili dal Fuoco) attraverso soluzioni costruttive specificatamente studiate caso per caso che per raggiungere i requisiti richiesti prevedano :

- ✓ la realizzazione di *pareti divisorie* che soddisfino la classe di resistenza al fuoco richiesta e quindi garantiscano per il tempo richiesto: eventuale capacità portante (R), tenuta ai fumi e alle fiamme (E), isolamento termico (I);
- ✓ interposizione di strutture tagliafuoco o spazi scoperti che realizzino una partizione di veicolo miranti al confinamento dell' incendio e dei suoi effetti (calore e fumo) nella zona d'innesco evitando, o ritardando per un tempo prefissato, la propagazione ad altre aree adiacenti o a strutture contigue;
- ✓ un' efficace *insonorizzazione* del vano motore - cambio con materiale autoestinguente, a bassa propagazione di fiamma e bassa emissione di fumi;
- ✓ utilizzo di materiali che siano in grado di garantire contemporaneamente isolamento termico ed isolamento acustico come la *lana minerale*, che è il materiale ignifugo di elezione poiché non è combustibile (in conformità allo standard ISO 1182) e non conduce il calore, ossia non brucia e non fa propagare il fuoco. In effetti questa, sotto forma di pannelli, feltri, coppelle, con o senza rivestimenti in funzione della specifica applicazione, o come lana sfusa, essendo costituita da un fitto intreccio di fibre legate tra loro con resine termoindurenti che creano una struttura costituita da una moltitudine di celle aperte contenenti aria, può resistere a temperature superiori a 1000 °C mantenendo inalterate le caratteristiche nel tempo ed è pertanto ideale come ritardante del fuoco, per esempio nelle pareti divisorie tra vano motore e

passeggeri, consentendo di guadagnare quei minuti essenziali a impedire che il fuoco si propaghi e permettendo così un risparmio in termini economici sugli eventuali danni materiali oltreché di ridurre l'inquinamento;

- ✓ isolamento con pannelli termofonoassorbenti interposti tra la parete esterna del tetto e il rivestimento interno del padiglione;
- ✓ utilizzo di materiali non metallici che presentino ottime caratteristiche autoestinguenti o in via subordinata di bassa propagazione di fiamma senza sviluppo di prodotti tossici durante la combustione e che soddisfino tutte le normative italiane vigenti in merito alta protezione contro gli incendi;
- ✓ affinché i divisori possano svolgere appieno la loro funzione, massima cura deve porsi nel realizzare le *aperture* necessarie per le condutture elettriche e per i condotti dei fluidi o di altri organi, altrimenti verrebbe messa in crisi la tenuta e la separazione che potrebbe perdere anche buona parte della sua efficacia, potendo l'incendio passare da un ambiente all'altro e in particolare, i fumi possono propagarsi arrecando essi stessi danni talvolta rilevanti. Tali aperture devono essere otturate con materiali non combustibili opportunamente messi in opera intorno ai condotti, mentre per le *condutture elettriche*, per le quali è essenziale che in corrispondenza degli attraversamenti sia ripristinata integralmente la continuità, occorre impiegare elementi appositi o materiali di riempimento speciali di comprovata validità. Infine, all'interno delle condotte di ventilazione, aerazione, condizionamento ecc., in corrispondenza degli attraversamenti possono essere previsti organi di intercettazione di adeguata resistenza al fuoco (ad ex speciali serrande azionabili a automaticamente con il compito di evitare che i condotti stessi possano propagare l'incendio (o anche

solo fumo) in zone separate o distanti da quelle direttamente colpite dal sinistro.

### *3.8.1 Importanza di una buona resistenza al fuoco*

In caso di incendio al di fuori del vano passeggeri, una buona resistenza al fuoco è un modo per garantire un tempo sufficiente per l'evacuazione sicura dei passeggeri e in alcuni casi consente di confinare i danni al vano motore. La resistenza al fuoco può suddividersi in base all' azione che si propone :

- ✓ estendere il tempo finché il fumo arriva nel vano passeggeri;
- ✓ estendere il tempo finché i gas tossici compaiono nel vano passeggeri;
- ✓ impedire o rendere difficile la diffusione dell'incendio da una zona incendiata a un'altra.

Oltre a salvare vite umane e rendere l'evacuazione dei passeggeri più facile la resistenza al fuoco stessa incrementerà il valore residuo di un bus dopo un incendio; se il fuoco può essere confinato in una cella ci saranno meno danni e meno costi per ripristinare il bus a un livello funzionale. La maggior parte degli incendi dei bus iniziano al di fuori del vano passeggeri, specialmente nel vano motore; in generale la comunicazione tra conducente e vano motore è molto scarsa; oltre il 50% degli incendi nei vani motori vengono osservati da una persona diversa dal conducente; a causa della mancanza di rilevatori di incendio o mal progettati nel vano motore, il tempo dall'inizio dell'incendio alla scoperta può essere lungo, a volte fino a 10 minuti; dopo che il fuoco è stato rilevato, ci deve essere il tempo per il parcheggio, l' informazione e l'organizzazione dell'evacuazione e attenzione ai passeggeri disabili, vedi la figura seguente in cui viene mostrata la resistenza al fuoco dell'inizio dell'incendio, all' incendio all'interno del bus, si noti la dipendenza di

una buona rilevazione incendi rispetto alla resistenza al fuoco. Per cui quanto prima viene rilevato l'incendio tanto migliori saranno le possibilità per l'evacuazione in sicurezza dei passeggeri e conducente [75].

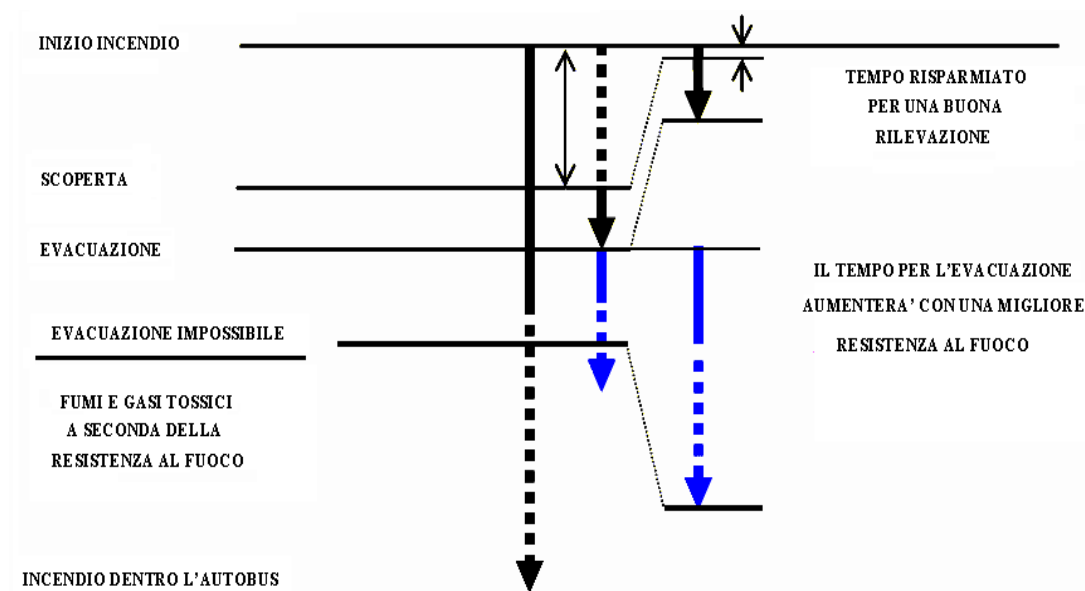



**Figura 43 :** ***Resistenza al fuoco da inizio incendio all'incendio interno al bus***

## 3.9 PRESCRIZIONI TECNICHE PER LA PROTEZIONE CONTRO I RISCHI INCENDIO

Secondo la **DIRETTIVA 2001/85/CE** del parlamento europeo e del consiglio del 20 novembre 2001 relativa alle disposizioni speciali da applicare ai veicoli adibiti al trasporto passeggeri aventi più di otto posti a sedere oltre al sedile del conducente e recante modifica delle direttive 70/156/CEE e 97/27/CE le prescrizioni tecniche cui debbono soddisfare gli autobus al fine di soddisfare la sicurezza dei passeggeri, in particolare per quel che a noi interessa, nei riguardi del rischio incendio risultano :

**Vano motore** :

- ✓ Nel vano motore non è utilizzato alcun materiale fonoassorbente infiammabile o che potrebbe impregnarsi di carburante, di lubrificante o di qualsiasi altro materiale combustibile, a meno di non essere ricoperto da un rivestimento impermeabile.
- ✓ Sono prese le necessarie precauzioni onde evitare, per quanto possibile, l'accumulo di combustibile, di lubrificante o di qualsiasi altro materiale combustibile in qualsiasi punto del vano motore, dando a detto vano un'adeguata conformazione o dotandolo di orifizi di scolo.
- ✓ Una parete divisoria di materiale resistente al calore è sistemata tra il vano motore e qualsiasi altra fonte di calore (quale un dispositivo destinato ad assorbire l'energia liberata quando il veicolo percorre una lunga discesa, ad esempio un freno di rallentamento, o un dispositivo di riscaldamento interno del veicolo, diversi tuttavia da quelli che funzionano con circolazione di acqua calda) e la parte restante del veicolo. Tutti i sistemi di fissaggio, le graffe, le guarnizioni, ecc., della parete divisoria sono ignifughi.
- ✓ Il vano passeggeri può essere dotato di un dispositivo di riscaldamento diverso da quello a circolazione di acqua calda purché sia rivestito di materiale resistente alle temperature generate dal dispositivo stesso, non emetta fumi tossici e sia ubicato in modo che i passeggeri non possano venire a contatto con una superficie calda.

**Circuiti elettrici:**

- ✓ Tutti i cavi sono perfettamente isolati ed i circuiti elettrici sono progettati per resistere alle condizioni di temperatura e umidità cui sono esposti. Nel vano motore, particolare attenzione è dedicata

alla capacità di resistenza dei cavi alla temperatura ambiente ed agli effetti dei probabili agenti contaminanti.

- ✓ Nessun cavo di un circuito elettrico trasmette una corrente di intensità superiore a quella ammissibile per detto cavo, tenuto conto del sistema di installazione e della temperatura ambiente massima.
- ✓ Tutti i circuiti elettrici che alimentano un elemento del motore diverso dal motorino di avviamento, dal circuito di accensione (accensione comandata), dalle candele a incandescenza, dal dispositivo di arresto del motore, dal generatore di corrente e dal collegamento a terra della batteria, comprendono un fusibile o un interruttore. Possono tuttavia essere protetti da un fusibile o da un interruttore comune, purché tarato a non più di 16 A.
- ✓ Tutti i cavi sono perfettamente protetti e fissati solidamente in modo da non essere danneggiati da tagli, abrasioni o attriti.
- ✓ Se la tensione elettrica supera i 100 volt RMS (valore quadratico medio) in uno o più circuiti elettrici di un veicolo, un sezionatore manuale che può interrompere tutti questi circuiti dal sistema elettrico principale è raccordato a ciascun polo di detto sistema non collegato a terra ed è collocato all'interno del veicolo, in un punto facilmente accessibile per il conducente, purché tale sezionatore non possa interrompere il circuito elettrico che alimenta le luci esterne obbligatorie del veicolo. La presente disposizione non si applica ai circuiti di accensione ad alta tensione né ai circuiti inseriti all'interno di una unità separata di equipaggiamento del veicolo.
- ✓ Tutti i cavi elettrici sono situati in modo che nessuna parte dei medesimi possa entrare in contatto con i tubi di mandata del carburante o con qualsiasi parte del sistema di scarico, o essere

sottoposti ad una temperatura eccessivamente elevata, a meno di essere provvisti di un isolamento o di una protezione speciali, quale ad esempio una valvola di scarico elettromagnetica.

**Batterie :**

- ✓ Tutte le batterie sono solidamente fissate e di facile accesso.
- ✓ Il vano della batteria è separato dal vano passeggeri e da quello del conducente ed è ventilato dall'aria esterna.
- ✓ I morsetti della batteria sono protetti dal rischio di cortocircuito.

**Estintori e attrezzature di pronto soccorso :**

- ✓ È previsto uno spazio per l'installazione di uno o più estintori (uno da 5 kg a polvere o uno da 2 Kg ad anidride carbonica), di cui uno accanto al sedile del conducente. Detto spazio non è inferiore a 8 $dm^3$ nei veicoli delle classi A e B e a 15 $dm^3$ nei veicoli delle classi I, II e III.
- ✓ È previsto uno spazio per l'installazione di una o più cassette di pronto soccorso. Detto spazio non è inferiore a 7 $dm^3$; la dimensione minima non è inferiore a 80 mm.
- ✓ Gli estintori e le cassette di pronto soccorso sono protetti dal furto o dal vandalismo (ad esempio con un armadietto o un vetro infrangibile). La loro ubicazione è tuttavia chiaramente indicata e sono previsti gli attrezzi necessari per estrarli facilmente in caso di pericolo.

**Ma t e r i a l i :**

La presenza di materiale infiammabile a meno di 100 mm dal sistema di scarico o da qualsiasi altra fonte di calore è consentita unicamente se detto materiale è protetto in maniera efficace. Ove necessario, è prevista una protezione per impedire che il grasso o altri materiali infiammabili entrino in contatto con i sistemi di scarico o altre importanti fonti di calore. Ai fini del presente punto, per materiale infiammabile si intende

un materiale non inteso a resistere alle temperature che possono essere raggiunte in tale ubicazione.

Secondo la **DIRETTIVA 95/28/CE** del Parlamento europeo e del Consiglio del 24 ottobre 1995 relativa al comportamento alla combustione (infiammabilità, velocità di combustione e comportamento alla fusione) dei materiali usati per l'allestimento interno di veicoli a motore della categoria M3, con più di 22 passeggeri, i materiali per interno del compartimento passeggeri utilizzati nel veicolo (usati per l'imbottitura dei sedili e loro accessori, compreso il sedile del conducente, materiali usati per il rivestimento interno del tetto, per il rivestimento interno delle pareti laterali e posteriore, comprese le pareti di separazione, materiali aventi funzioni termiche e/o acustiche, materiali usati per il rivestimento interno del pavimento, usati per il rivestimento interno dei vani bagagli, delle tubazioni di riscaldamento e di ventilazione, per i dispositivi di illuminazione), sottoposti a *prova per determinare la velocità di combustione orizzontale dei materiali* (un campione è disposto orizzontalmente in un supporto a forma di U ed esposto per 15 secondi all'azione di una fiamma definita di debole energia in una camera di combustione ove la fiamma agisce sul bordo libero del campione; la prova permette di determinare se e quando si spegne la fiamma oppure il tempo necessario alla stessa per percorrere una distanza misurata), nella misura di cinque campioni dei materiali se materiale è isotropo e dieci campioni nel caso di un materiale anisotropo (5 per ciascuna direzione) vengono ritenuti omologabili se per i risultati più sfavorevoli della prova, la *velocità orizzontale di combustione non supera 100 mm/minuto*, oppure se la fiamma si estingue prima di raggiungere l'ultimo punto di misurazione. Inoltre quattro campioni dei materiali (usati per il rivestimento interno del tetto, per il rivestimento interno dei vani bagagli,

della tubazioni di riscaldamento e di ventilazione situate nel tetto, per i dispositivi di illuminazione situati nei vani bagagli e/o nel tetto) vanno sottoposti a *prova per determinare il comportamento alla fusione dei materiali* (si dispone un campione in posizione orizzontale e lo si espone all'azione di un radiatore elettrico, un recipiente è posto sotto il campione per raccogliere le gocce che risultano dalla fusione, per verificare se qualche goccia è infiammata si pone nel recipiente un po' di cotone grezzo) e il risultato della prova è ritenuto soddisfacente se, considerando i risultati più sfavorevoli della prova, non si forma alcuna goccia che infiammi il cotone grezzo. Infine tre campioni nel caso di materiale isotropo oppure sei campioni nel caso di materiale anisotropo o dei materiali usati per tende e tendine (e/o altri materiali sospesi) devono essere sottoposti alla *prova per determinare la velocità di combustione* (consiste nell'esporre i campioni, mantenuti in posizione verticale, alla fiamma e nel determinare la velocità di propagazione della fiamma sul materiale oggetto della prova verticale dei materiali) e il risultato della prova è ritenuto soddisfacente se, considerando i risultati più sfavorevoli della prova, la velocità di combustione verticale non supera 100 mm/minuto. Da osservare che *non vengono sottoposti a prove* i seguenti materiali :

- ✓ parti di metallo o di vetro;
- ✓ ogni accessorio di sedile singolo con una massa di materiale non metallico inferiore a 200 g; se la massa totale di tali accessori supera 400 g di materiale non metallico per ogni sedile, ciascun materiale viene sottoposto alle prove; elementi con superficie o volume non superiori rispettivamente a : 100 $cm^2$ oppure 40 $cm^3$ per gli elementi collegati ad un posto a sedere singolo;
- ✓ 300 $cm^2$ oppure 120 $cm^3$ per ogni fila di sedili e, al massimo, per metro lineare dell'interno del compartimento passeggeri per gli

elementi distribuiti nel veicolo e non collegati ad un posto a sedere singolo;

- ✓ cavi elettrici;
- ✓ elementi dai quali non è possibile prelevare un campione di dimensioni prescritte.

I veicoli, inoltre, secondo quanto prescritto dalle normative vigenti e consigliato dall'**ASSTRA** devono :

- ✓ essere costruiti con materiali privi di componenti tossici (amianto, PFC, PCB, CFC, ecc.) e ciò dovrà essere mostrato da dichiarazione che attesti l'assenza di qualsiasi tipo di componente tossico;
- ✓ presentare ottima protezione contro gli incendi con l'impiego, ovunque possibile ed in ordine prioritario, di materiali non infiammabili, autoestinguenti o a bassa velocità di propagazione di fiamma (comunque V < 100 mm/min), secondo quanto indicato dalle Norme Tecniche UNI 3795, CUNA NC 590-02 e dalla Direttiva 95/28/CE e relativi allegati. Il Fornitore deve tenere in adeguata evidenza il problema derivante dell'adozione di sostanze che, per l'emissione dei fumi durante la combustione dei materiali, assumono un valore elevato di tossicità. Anche se non esplicitamente indicato deve essere comunque rispettata la norma ISO 3795. Il Fornitore dovrà, quindi, presentare in sede di offerta adeguata documentazione tecnica comprovante la rispondenza alle norme citate su tutti i materiali adoperati per la costruzione degli autobus;
- ✓ i veicoli dovranno essere dotati di un sistema di allarme antincendio che tramite opportuni sensori, applicati all'interno del vano motore e dell'eventuale vano del preriscaldatore, avvisi il

conducente mediante un segnale acustico e/o visivo dedicato, posizionato sul cruscotto posto guida. Tale dispositivo dovrà azionare l'intermittenza degli indicatori di direzione ("hazard warning").

### 3.9.1 Normativa di riferimento incendi autobus

- ✓ **Italia** : *Decreto Ministero dell'Interno 26-06-84* : Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi; *CUNA NC 590-02* : Limite della velocità di combustione dei materiali all'interno dei veicoli; *CEI 20-22* : Comportamento al fuoco dei cavi-Prova di non propagazione dell'incendio; *CEI 20-38/1* : Cavi isolati con gomma non propaganti l'incendio e a basso sviluppo di fumi dei gas tossici e corrosivi; *UNI ISO 3795* : Determinazione del comportamento alla combustione dei materiali all' interno dei veicoli.
- ✓ **CE** : *Direttiva 95/28/CE* : Relativa al comportamento alla combustione dei materiali usati per l'allestimento interno di talune categorie dei veicoli a motore.; *Direttiva 2001/85/CE* : Disposizioni speciali da applicare ai veicoli adibiti al trasporto passeggeri aventi più di otto posti a sedere oltre al sedile del conducente e recante modifica delle direttive 70/156/CEE e 97/27/CE.

- ✓ **Cavi** : *EN 50267, IEC 60754-2, CENELEC HD 602* (Corrosione dei gas di combustione); *EN 50265, IEC 60332-1, CENELEC HD 405.1* (Propagazione fiamma nei singoli cavi); *EN 50265, IEC 60332-3, CENELEC HD 405. 3* (Propagazione fiamma in gruppi di cavi); *EN 50268, IEC 61034, CENELEC HD 606* (Densità di fumo ammessa); *IEC 60331* (Isolamento cavi).
- ✓ **Tossicità** : EN 2824-2826; ISO 5659 ; IMO Resolution 61(67).

# Capitolo 4
# Le analisi statistiche

## 4.1 L' INDAGINE ASTTRA SUGLI INCENDI

La sempre maggiore complessità tecnologica del prodotto autobus e l'uso di nuovi materiali, specie per gli arredi interni, focalizza sempre di più l'attenzione dei costruttori sulle complesse problematiche relative alla prevenzione incendi specialmente per i danni che potrebbero derivare ai trasportati, al patrimonio e al danno di immagine sofferto dagli esercenti. Fondamentale, per questo particolare aspetto della progettazione degli autobus, è, ovviamente, l'analisi degli "incendi avvenuti", cosa resa spesso difficile dal fatto che il relativo accertamento tecnico da parte della Direzione di Esercizio e del Costruttore avviene su un veicolo in cui le parti ammalorate sono sostanzialmente distrutte e che la testimonianza dell'autista dà spesso informazioni insufficienti sulla dinamica dell'incendio stesso, in quanto egli, per prima cosa, deve ovviamente provvedere a evacuare il più ordinatamente possibile i passeggeri dal mezzo in fiamme ed a metterli in sicurezza [76 a 78]. Con l'obiettivo di stimare l'incidenza degli incendi sul parco autobus l'associazione dei trasporti ASSTRA [79 a 81] ha condotto un' indagine presso le Aziende esercenti, prendendo in considerazione 22.000 autobus, su un parco globale italiano di 31.000 unità, proponendo due questionari relativi agli incendi di auto-bus avvenuti negli anni 2001, 2002, 2003. Nel campione intervistato sono rappresentate aziende di tutte le dimensioni e collocazioni geografiche, comprese le maggiori aziende nazionali. Il

primo questionario, di carattere generale, è stato inviato a tutti gli associati, mentre il secondo, di approfondimento, inoltrato successivamente, ha interessato solo gli esercenti con un parco autobus più numeroso e con un tasso d'incendio risultante dal primo questionario superiore alla media.

### 4.1.1 Il primo questionario

Il primo questionario è stato indirizzato a 175 aziende di TPL che esercitano un servizio di trasporto su gomma e di queste, 69 hanno fornito una risposta al questionario. Alle aziende è stato richiesto:

- ✓ di indicare il numero di incendi occorsi per ogni anno nel periodo di riferimento;
- ✓ di distinguerli per gravità:
- ✓ di classificarli in base al componente veicolare da cui l'incendio è scaturito.

Per il primo punto lo studio ha rilevato che il numero di incendi complessivo ammonta a 418, per cui il tasso di incendio, calcolato come rapporto tra numero di veicoli coinvolti e numero di veicoli totali, è pari al 1,9%, quindi circa 140 autobus all'anno su 22.000 hanno subìto un incendio a bordo (6 incendi ogni 1000 autobus). Come è possibile vedere dal seguente grafico, si è registrata nell'arco temporale di riferimento una diminuzione del numero di incendi, dovuta probabilmente ad un miglioramento dei materiali e delle tecnologie costruttive dei veicoli.

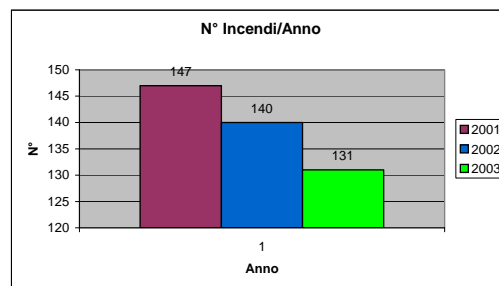



**Figura 44 :** ***Casi di incendio nel triennio 2001-2003***

Per quanto attiene invece alla distribuzione della gravità, gli incendi sono stati  distinti secondo la seguente classificazione:

- ✓ gravità 1 (emissione fumo senza innesco di fiamma);
- ✓ gravità 2 (innesco di fiamma e danni limitati al componente);
- ✓ gravità 3 (propagazione di fiamma e danni estesi);
- ✓ gravità 4 (incendio totale della vettura);

ed è risultato che oltre la metà degli incendi registrati (55%) presentava un indice di gravità 2 mentre la distruzione totale del veicolo si ha nell'8,4% dei casi (gravità 4).

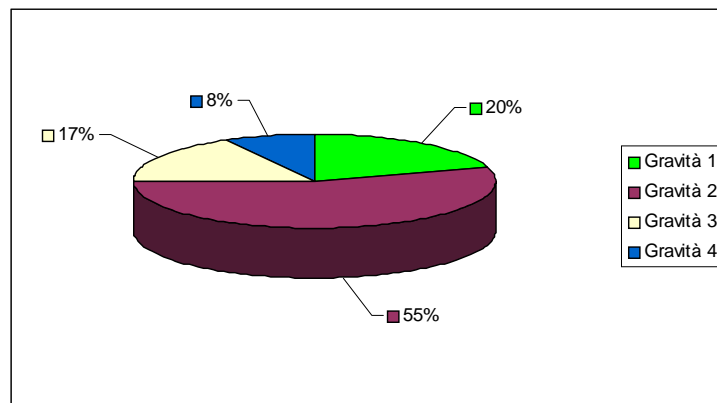



**Figura 45 :** ***Distribuzione per gravità di incendio***

Quindi dei circa 140 autobus all'anno su 22.000 che hanno subito un incendio a bordo, ben 77 autobus (circa 3,5 autobus ogni mille) sono interessati ogni anno da incendi di entità trascurabile con piccoli danni locali, mentre circa 12 autobus (0,53 autobus ogni mille) sono andati invece distrutti, fortunatamente senza che ci siano mai stati danni alle persone mentre l' evacuazione dei passeggeri durante gli incidenti si è svolta senza rischi e in piena sicurezza.  Le percentuali esposte possono apparire piccole in valore assoluto, ma 12 autobus all'anno andati mediamente distrutti, con le conseguenti possibilità di seri danni alle persone, devono far riflettere sulla necessità di porre, su questo tema, la massima attenzione, sia in fase di progettazione, con la scelta accurata dei materiali e degli accorgimenti costruttivi più adatti, che in corso di

manutenzione. Infine per il terzo punto, vale a dire la classificazione in base ai componenti interessati è stato fornito il seguente elenco in base al quale individuare : Vano motore, Ruote posteriori, Parte posteriore, Vano batterie, Cruscotto/Pannello strumentazione Anteriore, Ruote anteriori, Turbina, Bracciolo comandi porte, Centralina dietro autista, Sotto cruscotto, Pulsantiera cambio automatico, Pannello anteriore sx (dietro guida), Parte posteriore angolare dx, Impianto elettrico, Parte anteriore altezza posto guida, Alternatore, Impianto Elettrico interno vettura, Luci corsia/plafoniere, Porta anteriore/resistenza vetro termico, Posto guida, Parte posteriore altezza marmitta, Parte posteriore dx altezza ruote, Serbatoi Aria, Motorino avviamento, Cartelli indicatori, Obliteratrice.

L'analisi ha evidenziato che i componenti maggiormente interessati all'innesco dell'incendio sono nel vano motore, fonte di incendio nel 39,5% dei casi; altri componenti rilevanti sono le ruote posteriori e l'impianto elettrico (7,7%), la parte posteriore (6,9%). Se si tiene in considerazione il fatto che altri componenti quali la marmitta, la turbina o gli alternatori sono tutti installatati nel vano motore, i casi d'innesco incendio interessanti il vano motore salgono al 49,8%. Nella categoria "Altro" sono compresi componenti la cui incidenza è risultata minore del 1,9% del totale.

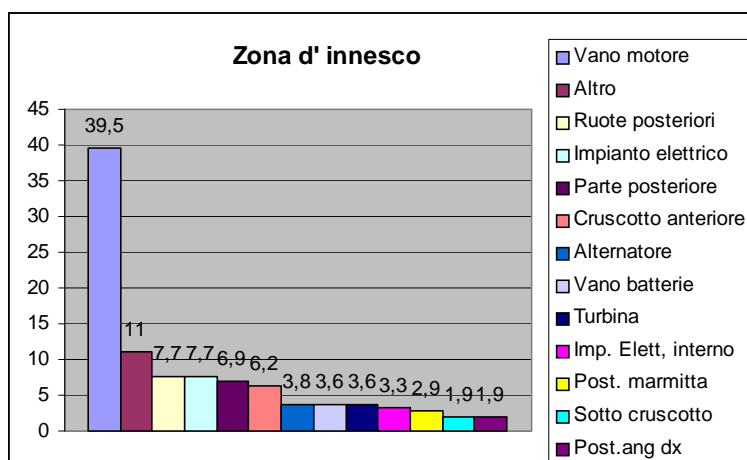



**Figura 46 :** ***Classificazione incendi in base ai componenti interessati***

### 4.1.2 Il secondo questionario

Il secondo questionario è stato predisposto per le Aziende con un parco veicolare consistente in cui, come emerso durante lo studio del primo questionario, si è verificato un numero di incendi significativo aventi quindi un tasso di incendio/parco autobus superiore alla media; esso è stato indirizzato a 10 aziende e di queste 8 hanno risposto all'indagine. Per ogni incendio verificatosi si è chiesto di indicare la data dell'incidente, la classe del veicolo, la tipologia del motore in funzione dei livelli di emissione di gas inquinanti allo scarico secondo quanto previsto dalla Direttiva 1999/96/CE e successive modifiche ed integrazioni, la data di immatricolazione ed eventualmente il numero di chilometri percorsi al momento dell'incendio, eventuali danni a persone, la causa dell'incendio, la zona di origine, la gravità. Mettendo in relazione le diverse tipologie di motori con le percentuali d' incendio di ciascuna tipologia di gravità l'analisi ha messo in evidenza che non c'è un rilevante rapporto tra le diverse categorie di motore e la gravità dell'incendio, a meno di un tasso maggiore di incendi di gravità 2 per la categoria Euro 3. Si evidenzia però che la gravità 4 tende ad aumentare col salire della categoria Euro e che gli incendi relativi ai motori ibridi o a metano non hanno provocato la perdita totale di veicoli (0% Gravità 4), ciò viene riassunto nei successivi diagrammi :

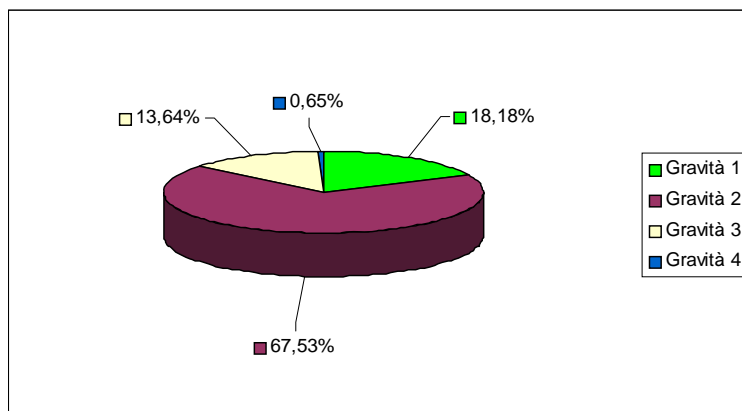



**Figura 47 : *Euro 0***

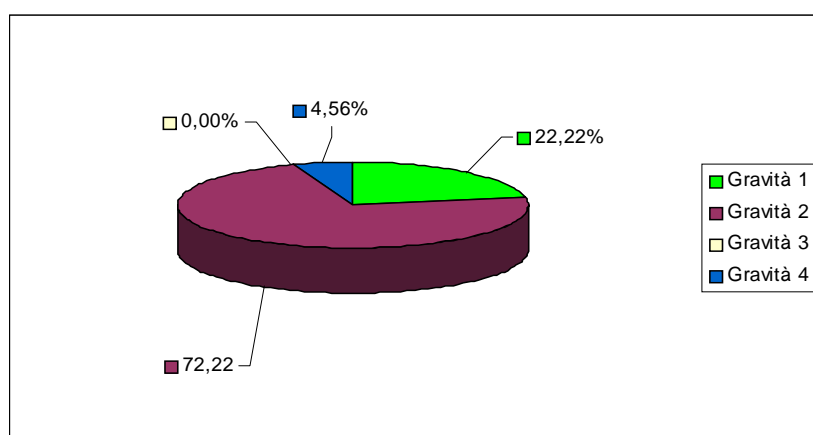



**Figura 48 : *Euro 1***

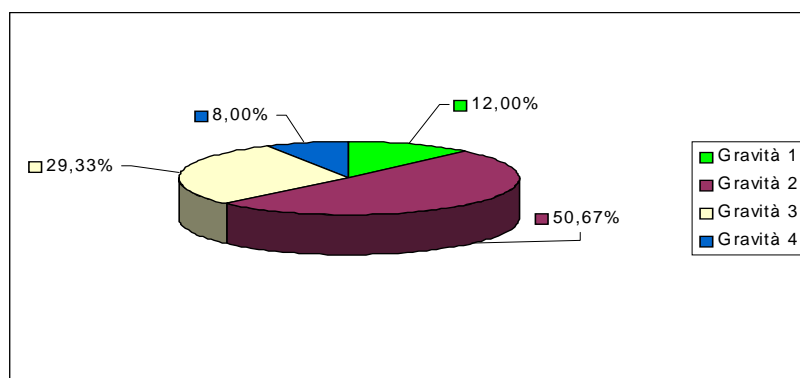



**Figura 49 : *Euro 2***

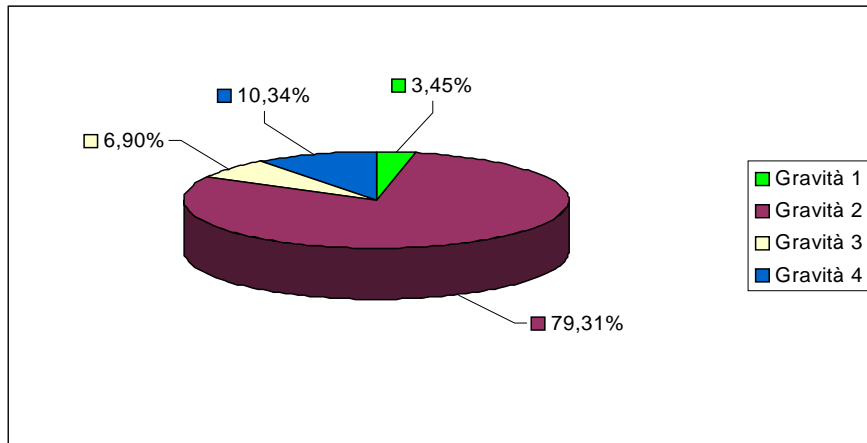
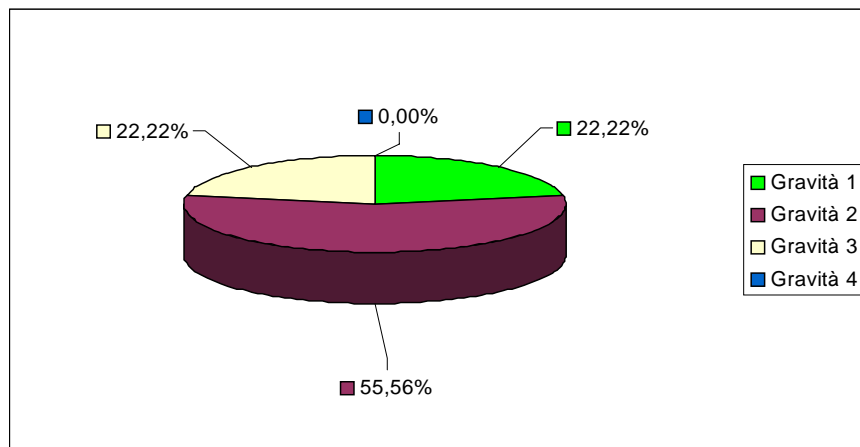



**Figura 50 : *Euro 3***

**Figura 51 : *Ibridi/Metano***

L'autobus da noi preso in considerazione presenta un motore Euro 3 per il quale la figure mostrano la maggiore percentuale di incendi di gravità 4; questo perché i veicoli Euro 3 per la presenza di elementi come la marmitta catalitica e il filtro antiparticolato, risultano particolarmente esposti al pericolo incendio a causa delle temperature particolarmente elevate ed alla presenza concentrata di sostanze estremamente infiammabili.

Inoltre se rappresentiamo il tasso di incendio per ogni anno del periodo di riferimento (che va dal 2001 al 2003), calcolato come rapporto tra il numero di veicoli coinvolti e il numero di veicoli totali e il tasso di incendio in rapporto alla tecnologia costruttiva del motore si evidenzia

una diminuzione del tasso di incendio nel tempo per le tipologie Euro 0 ed Euro 2 mentre si osserva un aumento per i veicoli Euro 3. Da questo grafico si può quindi dedurre una relazione tra la anzianità del mezzo e il rivelarsi dell'incendio. Secondo i dati della CTP i veicoli vedono l'insorgere dei primi problemi a circa un terzo della vita utile, che è stimata essere mediamente di almeno 15 anni, per cui per effetto dell'incendio è stato necessario dismettere gli autobus dopo solo 5 anni di utilizzo con conseguenti notevoli danni economici per l'azienda.

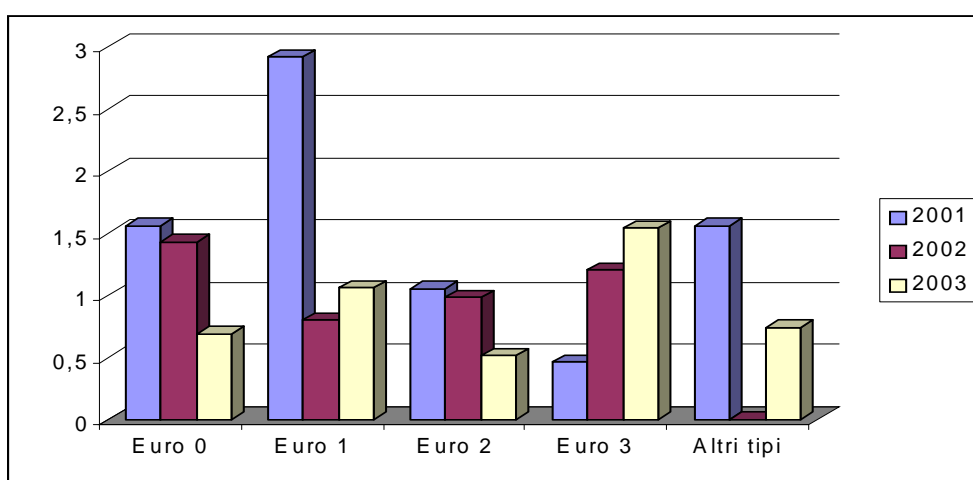



**Figura 52 :** ***Rapporti incendi /parco***

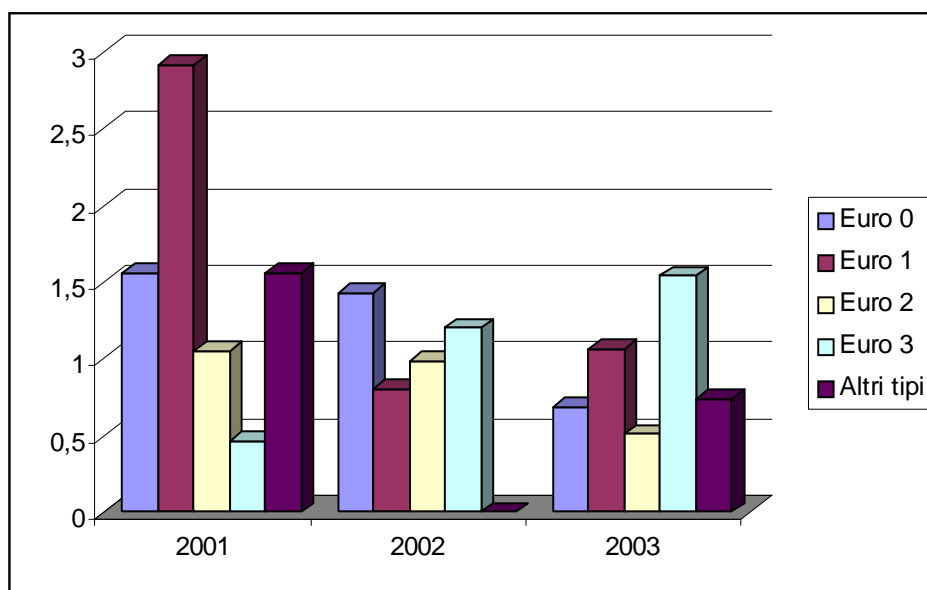



**Figura 53 :** ***Tasso di incendio annuo***

## 4.2 LE CAUSE D'INCENDIO SECONDO LE STATISTICHE

Dall'indagine è emerso che la causa di incendio più comune è il corto circuito di impianti elettrici (in particolare : cavi motorino di avviamento, cavi vano motore, cavi alternatore, cavi massa, centraline, pannelli elettrici), evento che incide per il 42,7% dei casi. Per quasi il 30% degli incendi non è stata individuata la causa di innesco. Infine, non è sempre possibile stabilire una correlazione tra le tecnologia del motore e le cause dell'incendio. Ma vediamo il dettaglio dell'analisi nella seguente tabella :

**Tabella 39 : *Cause di incendio***

| CAUSE DI INCENDIO | % |
|---|---|
| Corto circuito | 42,7 |
| Cause non rilevate | 30 |
| Perdita nel circuito di alimentazione | 4,2 |
| Materiale camino di scarico non idoneo | 3,4 |
| Rottura turbocompressore | 3,4 |
| Impianto riscaldamento | 2,5 |
| Surriscaldamento motore | 2,5 |
| Grippaggio alternatore | 1,7 |
| Intasamento pozzetto di scarico e surriscaldamento tubi | 1,7 |
| Altro ( <1 %) | 6 |

Le cause degli incendi [82] possono in definitiva essere così suddivise:

- ✓ cortocircuito cablaggi impianto elettrico;
- ✓ avarie elettriche ad altri equipaggiamenti elettrici;
- ✓ perdite di combustibile e oli.

### 4.2.1 Corto circuito cablaggi impianto elettrico

Le cause principali sono da imputare al deterioramento meccanico dell'isolante del cavo, dovuto principalmente allo sfregamento del cavo

con parti metalliche taglienti per fissaggi inadeguati. Le zone del veicolo critiche, cioè quelle zone in cui è maggiore la frequenza d'innesco dell'incendio o la sua magnitudo sono: il vano batterie e il vano motore (cablaggi alternatore e cablaggi motorino di avviamento). In queste due zone, infatti, le condizioni ambientali (maggiori temperature nel vano motore) e le severe condizioni d'utilizzo dei conduttori (maggiori intensità di corrente e mancanza di protezione elettrica) sono tali da favorire un corto circuito nel caso di un deterioramento del cablaggio stesso o amplificare gli effetti dell'incendio una volta innescato. Generalmente i cortocircuiti in altre sezioni dell'impianto elettrico generano degli inneschi d'incendio localizzati e di piccola entità.

### 4.2.2 Avarie elettriche ad altri equipaggiamenti elettrici

In questo caso l'incendio ha origine da un difetto del componente elettrico, sia per motivi meccanici (surriscaldamento dei cuscinetti) sia per motivi elettrici, come ad esempio sovracorrenti soprattutto nei motori elettrici (elettroventilatori) o attuatori.

### 4.2.3 Perdite di combustibile e oli

Nel vano motore le principali cause dell' incendio con fiamme sono imputabili principalmente alla presenza di liquidi combustibili ed alla possibilità di innesco dei vapori da questi generati; la fuoriuscita di combustibile liquido (per rottura di tubi afferenti agli iniettori) o la perdita di oli idroguida, olio per ventilatore idrostatico, olio lubrificante, ecc, (determinata o da una rottura della tubazione oppure da perdite di tenuta della stessa), particolarmente pericolosi per il loro basso punto di infiammabilità, (in particolare il gasolio e l' olio idraulico circa 55°C e 170 °C rispettivamente), venendo a contatto con parti calde, come la turbina o la linea di scarico possono dare origine all'incendio.

Per gli **inneschi** invece, come vedremo più nel dettaglio nel caso oggetto di studio, si può dire che le possibili sorgenti d' ignizione sono riconducili a scintille o a superfici calde.

## 4.3 LE ZONE DI ORIGINE DELL' INCENDIO

Per quanto riguarda invece la **zona dì origine**, dal secondo questionario si ha la conferma di quanto emerso dalla prima indagine, cioè che il vano motore risulta il più colpito raggiungendo una percentuale del 56,3 %, cui seguono: le ruote posteriori (7,7 %), impianto elettrico (6,3 %), parte posteriore (4,8%), posto guida (5,5%), vano batterie (3,3%), tutte le altre zone interessate da incendio hanno percentuali inferiori al 2% (scappamento superiore, cassonetto sopra autista, serbatoi aria, strumentazione anteriore, zona turbina, cartelli indicatori, obliteratrice, parte anteriore, ruote anteriori, campanello, pulsantiera, tetto, webasto, zona cambio motore, sotto ralla, cinghia alternatore, condizionatore, devioluci, motorino riscaldamento, cruscotto, alternatore, freni). Nei due diagrammi seguenti si riportano il numero degli incendi e la relativa zona d'origine per autobus di tipo Euro 0 ed Euro 2 che presentano dei valori più significativi.

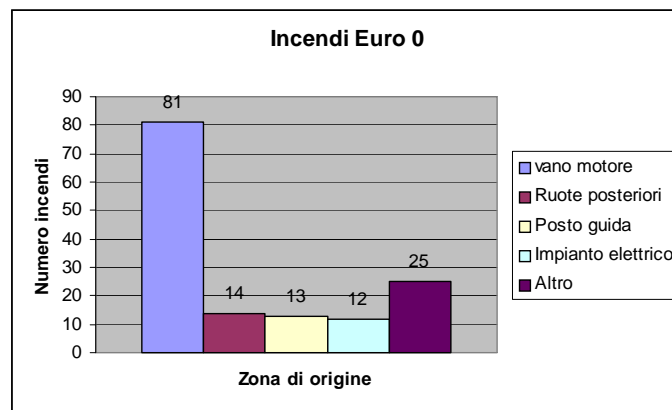



**Figura 54 :** ***Zone e n° incendi per Euro 0***

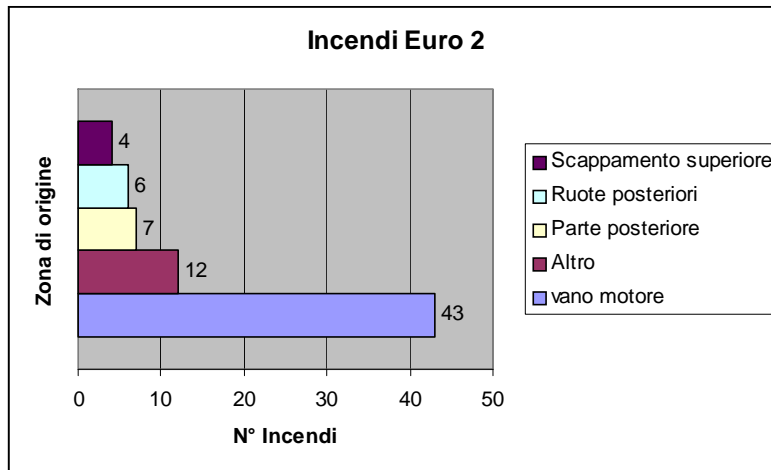



**Figura 55 :** ***Zone e n° Incendi per Euro 2***

## 4.4 OSSERVAZIONI

Sintetizzando i dati a disposizione emergono alcune importanti osservazioni, che ci aiuteranno ad individuare possibili raccomandazioni o suggerimenti sia in fase di progettazione e costruzione veicolo, che durante l'esercizio. La prima constatazione è che la maggioranza degli incendi ha origine nel vano motore ed è anche la zona maggiormente interessata dall' incendio e all' interno di esso possono verificarsi i seguenti tipi di incendio :

- ✓ classe A, sostanze solide combustibili;
- ✓ classe B, liquidi combustibili e/o infiammabili;
- ✓ classe C, gas infiammabili ( limitatamente a quelli a metano).

Nel caso d'incendio partito dal *vano motore*, l'autista non ha rilevato alcuna segnalazione anomala sul cruscotto e frequentemente, la segnalazione dell' incendio è stata fatta grazie a terzi presenti all'esterno del bus, quando ormai l'incendio ha assunto dei livelli pericolosi. Le informazioni raccolte intervistando l'autista, riguardanti i fenomeni riscontrati nei tempi im-mediatamente antecedenti all'incendio manifesto, si sono riscontrati decisivi nel determinare la causa dell'incendio.

Purtroppo, spesso questa raccolta d'informazioni è stata impossibile o incompleta. Altri componenti veicolari particolarmente interessati da principi d'incendio sono le *ruote posteriori*, la cui genesi è abbastanza omogenea e cioè il surriscaldamento dei freni per un anomalo funzionamento dei medesimi.
In definitiva i dati statistici, anche se nella maggior parte dei casi privi delle informazioni necessarie per risalire alle cause originarie degli eventi (escludendo i casi di origine dolosa e quelli dovuti a circostanze esterne o ad incidenti) evidenziano comunque che, quando il veicolo stesso è accidentalmente fonte primaria dell'incendio, le cause sono generalmente attribuite a difetti elettrici od a perdite di oli e carburante. È tuttavia gravoso stabilire se tali cause dipendono da carenze di progettazione, difetti di fabbricazione od altro, in quanto difficilmente vengono raccolti ed ordinati i dati necessari ad individuare precise linee di tendenza di tali incendi, per le varie categorie di autoveicoli.
Pertanto l'argomento incendio autobus, per le problematiche che coinvolge, viste le difficoltà nell' acquisire dati certi relativi agli incendi che coinvolgono gli autobus di linea e le rispettive cause e visti anche nuovi rischi di incendio che preoccupano sia i costruttori che gli utilizzatori, travalica i confini aziendali ed impatta con quelli normativi e industriali, determina un fermento di studi in diversi paesi europei e necessità di approfondimenti sperimentali del fenomeno.
Per questo l' Università, attraverso una disamina degli aspetti contenutistici delle norme e della legislazione in materia di sicurezza e salute sulla prevenzione antincendio, appare il giusto tramite per interloquire con il Ministero ed i costruttori di autobus al fine di proporre eventuali misure tecniche che rafforzino il livello di sicurezza intrinseca riducendo la probabilità del verificarsi dell' incendio, che limitino l'entità e la gravità delle conseguenze e siano atte a :

- ✓ ridurre ed eventualmente eliminare le possibili cause degli incendi;
- ✓ proporre protezioni del comparto passeggeri;
- ✓ portare all'individuazione e alla definizione dei requisiti operativi del sistema automatico antincendio.

## 4.5 Gli incendi alla CTP

Per gli autobus della CTP la classificazione degli incendi secondo l'indice di gravità consente di compilare le seguenti tabelle, relative agli anni 2004 –2007, non disponendo dei dati complessivi dal 2008 in poi, che mostrano gli elevati livelli di pericolosità raggiunti e in aggiunta si è considerato anche un caso avvenuto recentemente del 2009 :

**Tabella 40 :** ***Incendi CURSOR da noi considerati aggiornato al 2009***

| Data Incidente | Classe veicolo | Modello veicolo | Tipologia Motore | Data Immatricolazione | Km percorsi | Danni persone | Zona D'origine | Gravità |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18/4/2007 | I | 5842 591.10.29 | Euro3 | 09/07/2002 | 300473 | NO | Vano Motore | 2 |
| 21/06/2007 | I | 5806 591.10.29 | Euro3 | 09/07/2002 | 399501 | NO | Vano Motore | 3 |
| 05/11/2007 | I | 5811 591.10.29 | Euro3 | 09/07/2002 | 406332 | NO | Vano Motore | 4 |
| 11/07/2009 | I | 5829 591.10.29 | Euro3 | 09/07/2002 | 396319 | NO | Vano Motore | 4 |

Nella successiva tabella si riportano gli incendi avvenuti nelle altre tipologie di autobus relativi allo stesso periodo :

**Tabella 41 :** ***Incendi altre tipologie nel periodo 2004-2007***

| Data Incidente | Classe veicolo | Casa Costruttrice | Tipologia Motore | Data Immatricola.ne | Km percorsi | Danni persone | Zona D'origine | Gravità |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 05/2004 | I | IRISBUS | Euro EEV | 07/2003 | 48000 | NO | Parte posteriore | 2 |
| 05/2005 | I | FIAT | Euro 0 | 02/1986 | 1352027 | SI | Vano motore | 3 |
| 05/2005 | I | BMB | Euro 2 | 05/1999 | 480325 | NO | Vano motore | 4 |
| 06/2005 | I | CAM AUTODROMO | Euro 2 | 03/1999 | 395727 | NO | Vano motore | 4 |
| 06/2006 | I | FIAT | Euro 0 | 05/1985 | 1015302 | NO | Ruote posteriori | 3 |
| 10/2006 | II | INBUS | Euro 0 | 01/1987 | 1456073 | NO | Vano motore | 4 |
| 02/2007 | I | BMB | Euro 2 | 04/1999 | 481375 | NO | Parte posteriore | 4 |
| 12/2007 | II | FIAT | Euro 0 | 02/1993 | 1225749 | NO | Vano Motore | 3 |

**Tabella 42 :** ***Riepilogo generale dati***

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | Totale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Totale parco bus** | 472 | 463 | 489 | 486 | 455 | 447 | |
| **N° incendi** | 1 | 3 | 2 | 5 | 0 | 1 | 12 |
| **Gravità 1** | | | | | | | 0 |
| **Gravità 2** | 1 | | | | | | 1 |
| **Gravità 3** | | 1 | 1 | 3 | | | 5 |
| **Gravità 4** | | 2 | 1 | 2 | | 1 | 6 |

Capitolo 5

# Descrizione tecnica dell’autobus Iveco Cityclass incendiato

## 5.1 INTRODUZIONE

Il **CityClass** è stato uno degli autobus maggiormente diffusi in Italia, con 6.811 esemplari accertati ed infatti è presente nelle aziende di trasporto di quasi tutte le province italiane e diffuso maggiormente nelle 4 grandi città : Roma, Milano, Torino e Napoli {29 a 32}.

**Figura 56 :** ***Cityclass 591 della CTP***

Prodotto dal 1997 al 2007 dalla azienda italiana Iveco attualmente sostituito dal Citelis e commercializzato con il marchio Iveco fino al 2002, successivamente dopo la fusione del settore autobus di Iveco, Renault V.I., Heuliez, Orlandi e Karosa nella nuova società Irisbus, ha adottato come logo un piccolo delfino applicato direttamente sulla carrozzeria sulla testata anteriore, poi oggetto nel 2005 di un restyling, che lo ha posto in un piccolo incavo.

**Figura 57 :** ***Logo Irisbus***

Il design è stato opera della società Italdesign di Giorgetto Giugiaro che nei veicoli alimentati a metano, ha progettato anche la particolare carenatura applicata sul tetto per nascondere le bombole di metano.
Era disponibile in versione urbana (conosciuta con la numerazione 491) o suburbana (591), con alimentazione a gasolio e a metano e con lunghezze di 10.80, 12 e 18 metri, esistevano anche prototipi non circolanti di tipo ibrido ed un veicolo ad idrogeno utilizzato durante i Giochi Olimpici Invernali di Torino, mentre non è mai stata prodotta una versione interurbana con i posti a sedere tutti rivolti verso il senso di marcia e rialzati), che avrebbe dovuto essere numerata ipoteticamente 691, in quanto, contemporaneamente alla produzione di questo modello, erano presenti in listino già diversi autobus interurbani di fascia bassa. Poiché nel periodo di produzione del Cityclass è stato liberalizzato il colore da

adottare per gli autobus adibiti al servizio pubblico, abbandonando l'obbligo dell'arancione o del blu per gli interurbani, presenta le più svariate livree, anche se l' arancio ministeriale resta tuttavia il colore maggiormente diffuso.
Per quanto riguarda il tipo di **motorizzazione**, inizialmente utilizzava il motore Fiat 8360.46 dell' Iveco 490 con potenza di 220 cv, successivamente fino al 2001 hanno adottato il motore diesel "Fiat 8360.46B" da 250 o 270 cv nelle versioni da 10.8 e 12 metri e da 310 cv nella versione da 18 metri; dal 2002 è iniziata la produzione del motore "Cursor 8" a norma Euro 3 e successivamente Euro 4, disponibile nelle versioni da 290 cv per quanto riguarda le vetture da 10,8 e da 12 metri, e da 350 cv per quelle autosnodate; nel 2005 il Cursor 8 è stato adattato per l'alimentazione a metano, depotenziandolo a 270 cv e sostituendo il precedente motore Fiat 8469.21 da 240 cv, infine dal 2006 il Cursor 8 è stato prodotto in versione EEV (Enhanced Environment-friendly Vehicle) e reso compatibile con le normative anti-inquinamento Euro 5.
Nella dotazione della flotta della CTP sono presenti 48 vetture suburbane Irisbus CityClass 591 e 9 vetture urbane Irisbus CityClass 491 a gasolio e 50 vetture urbane Irisbus 491 CNG a metano.

## 5.2 CARATTERISTICHE GENERALI

- ✓ Autobus a due assi di 10 metri di lunghezza, a due porte di servizio rototraslanti, di cui una sullo sbalzo anteriore.
- ✓ Telaio a longheroni a sezione prevalentemente chiusa.
- ✓ Scocca collaborante con il telaio realizzata con profilati di acciaio a sezione prevalentemente rettangolare.

- ✓ Gruppo motopropulsore montato in posizione posteriore trasversale, cambio automatico in linea con il motore ad angolo ad 80°.
- ✓ Trazione posteriore con ponte ribassato a portale rovesciato.
- ✓ Assale anteriore rigido.
- ✓ Motore diesel sovralimentato IVECO CURSOR 8, raffreddato a liquido, 6 cilindri verticali in linea.
- ✓ Sospensioni pneumatiche integrali con barre antirollio anteriori e posteriori.
- ✓ Freni bidisco anteriori e freni a tamburo posteriori con guarnizioni senza amianto.
- ✓ Cambio automatico ZF con convertitore di coppia e rallentatore idraulico incorporato.
- ✓ Guida a sinistra [83 e 84],{33}.

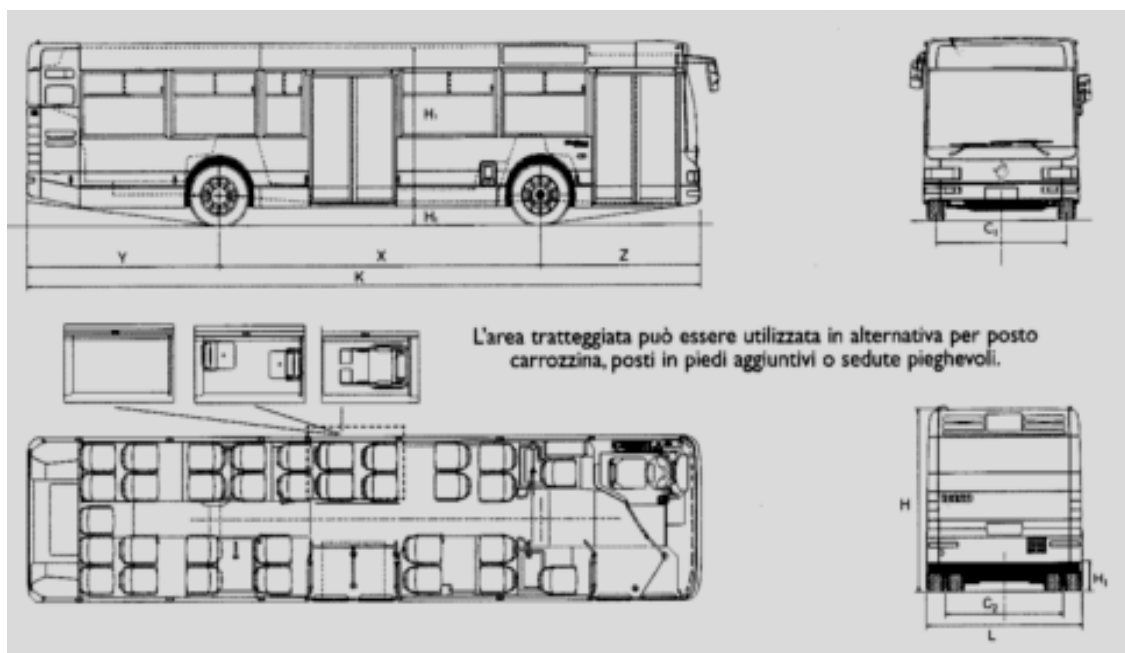



**Figura 58 :** ***Viste CityClass Cursor 591.10.29***

## 5.3 CATTERISTICHE TECNICHE

**Tabella 43 :** ***Dimensioni (in mm)***

| Caratteristica | Dimensione (mm) |
|---|---|
| Lunghezza K | 10795 |
| Larghezza L | 2500 |
| Altezza massima H (in marcia,veicolo vuoto,con gruppo condiz.mento) | 2990 |
| Altezza minima dal suolo con pedana disabili (masse sospese) | 165 |
| Altezza minima dal suolo senza pedana disabili $H_I$ | 180 |
| Altezza minima dal suolo masse non sospese (veicolo fermo) | 124 |
| Passo X | 5150 |
| Sbalzo anteriore Z | 2565 |
| Sbalzo posteriore Y | 3080 |
| Altezza interna minima | 2235 |
| Altezza interna media $H_1$ | 2300 |
| Altezza media del piano di calpestio $H_2$ (in marcia veicolo vuoto)<br>anteriore<br>centrale<br>posteriore | <br>360<br>375<br>380 |
| Larghezza del corridoio al piano di calpestio<br>fra passaruota anteriore<br>fra passaruota posteriore | <br>900<br>550 |
| Altezza min da terra filo inferiore fiancata (veicolo carico in marcia) | 290 |
| Carreggiata anteriore $C_1$ | 2092 |

| | |
|---|---|
| Carreggiata posteriore $C_2$ | 1886 |
| Angolo di sbalzo anteriore | 7° |
| Angolo di sbalzo posteriore | 7° |
| Altezza soglie porte (fermo, a vuoto)<br>anteriore<br>posteriore | <br>320<br>340 |
| Altezza soglie porte con kneeling<br>anteriore<br>posteriore | <br>250<br>270 |
| Larghezza vano porte | 1360 |
| Larghezza libera porte | 1200 |
| Altezza libera porta<br>anteriore<br>centrale | <br>1940<br>1920 |

**Tabella 44 : *Posti disponibili***

| **Posti** | **Base** | **Con carrozzella** | **Con sedili ripiegabili** | **Posto carrozzella adibito a posti in piedi** |
|---|---|---|---|---|
| Posti a sedere fissi | 33 | 29 | 29 | 29 |
| Posti in piedi | 49 | 49 | 51 | 53 |
| Posti per carrozzella | | 1 | / | / |
| Posti a sedere ribaltabili | | / | 2 | / |
| Posti di servizio | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Totale posti | 83 | 80 | 83 | 83 |

**NB I**l numero dei posti è calcolato con una densità di 8 passeggeri al $m^2$

**Tabella 45 : *Prestazioni***

| Prestazioni | Valori |
|---|---|
| Diametro minimo d'ingombro | 18410 (mm) |
| Diametro minimo di volta | 14340 (mm) |
| Angolo massimo di sterzata | 59.4° |

**Tabella 46 : *Masse (kg)***

| | Tara | Pieno carico |
|---|---|---|
| Asse anteriore | 3340 | 5985 |
| Asse posteriore | 7760 | 10695 |
| Totale | 11110 | 16680 |

**Tabella 47 : *Massimi pesi tecnicamente ammessi (kg)***

| | Pesi |
|---|---|
| Asse anteriore | 7100 |
| Asse posteriore | 12000 |
| Totale | 19000 |

**Tabella 48 : *Consumi combustibile***

| Norme di riferimento | Consumi |
|---|---|
| Norma CUNA 003-01 | 20.3 l/100 km |
| Norma CUNA 503-01 | 46.6 l/100 km |

**Tabella 49 : *Rumorosità interna ed esterna***

| Rumorosità | Valori |
|---|---|
| Rumorosità interna misurata secondo norme Cuna NC 504.02<br>parte anteriore<br>parte centrale<br>parte posteriore | <br>66.5 dB(A)<br>69 dB(A)<br>72 dB(A) |
| Rumorosità esterna secondo norme CEE 92/97 | 75 dB(A) |

## 5.4 ORGANI DEL MOTO

### 5.4.1 Motore

Diesel iniezione diretta 4 tempi, sovralimentato con intercooler aria/aria.

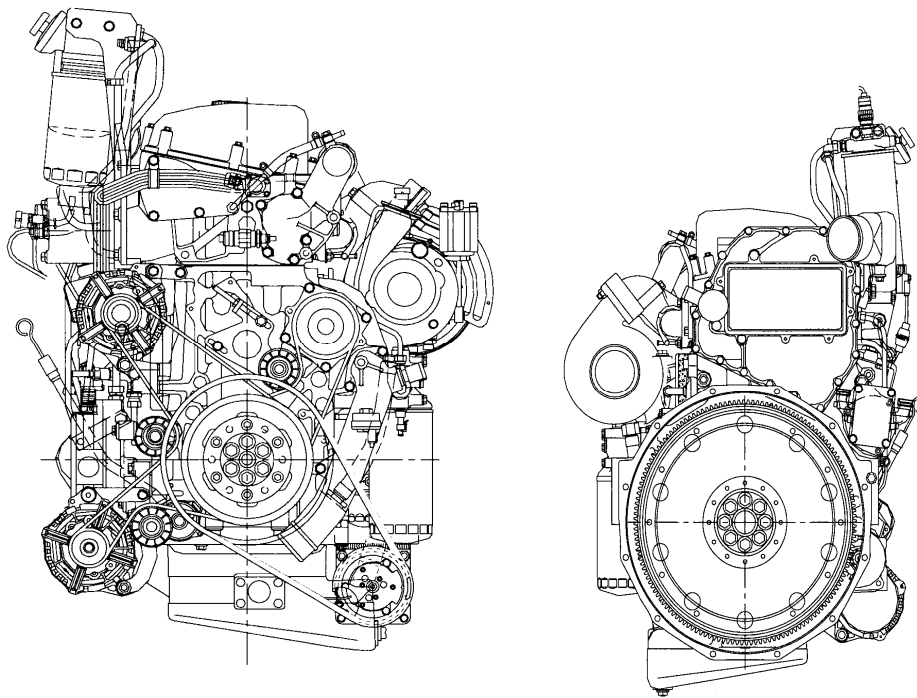



**Figura 59 :** ***Vista frontale e posteriore del motore***

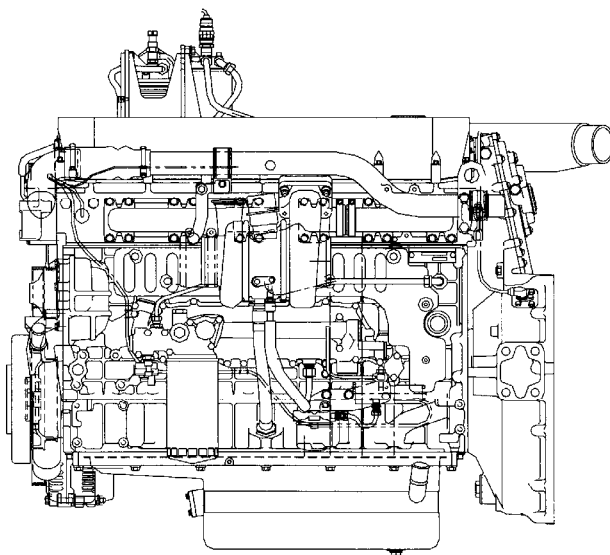



**Figura 60 :** ***Vista laterale sinistra del motore***

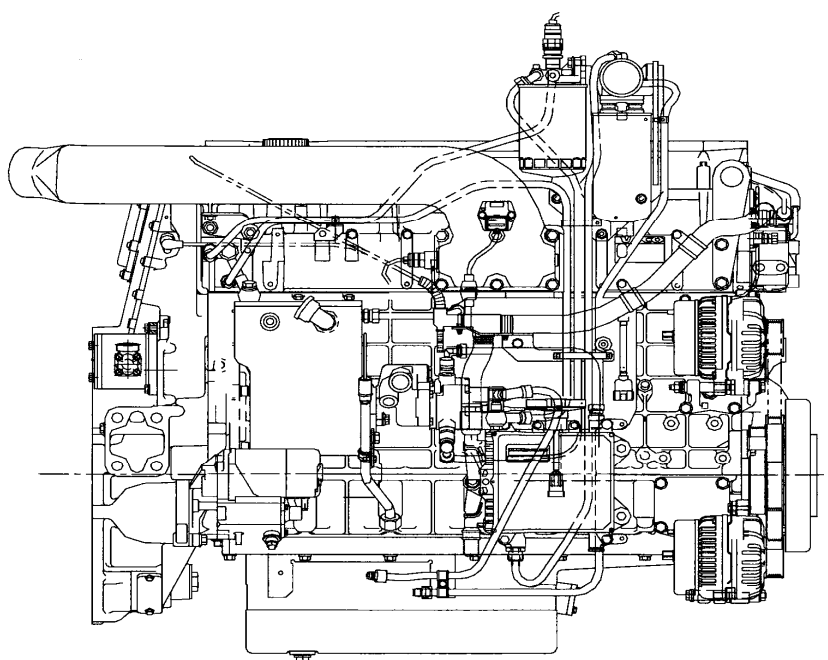



**Figura 61 :** ***Vista laterale destra del motore***

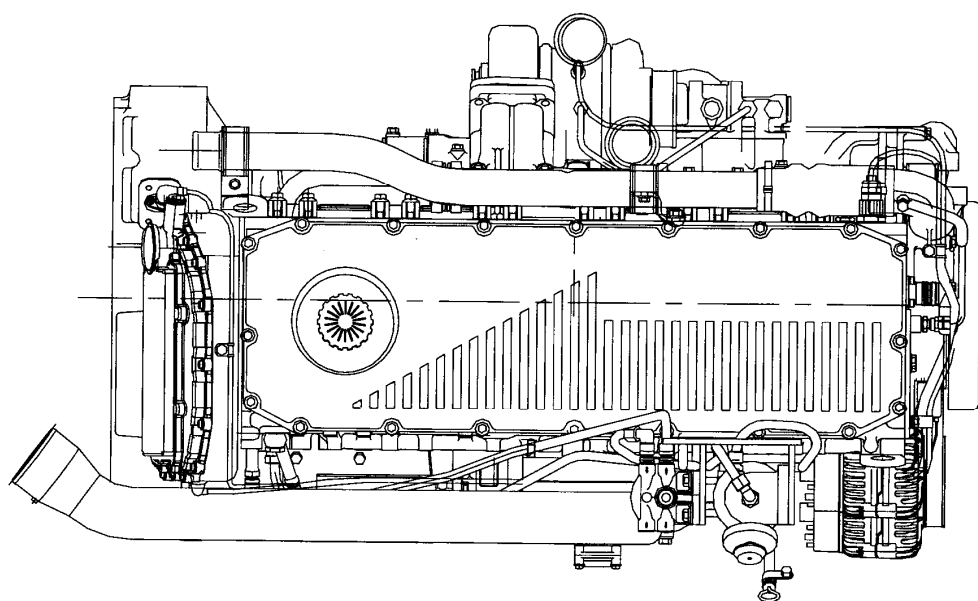



**Figura 62 :** ***Vista superiore del motore***

**Tabella 50 :** ***Caratteristiche del motore***

| **Caratteristiche** | |
|---|---|
| Numero cilindri | 6 in linea |
| Alesaggio per corsa | 115 x 125 |
| Cilindrata totale | 7.79 litri – 7790 |
| Rapporto di compressione | 16:1 |
| Senso di rotazione (lato volano) | CCW |
| Capacità coppa olio | 20.5 litri |
| Specifiche olio | ACEA – E3-96 |
| Pendenza di lavoro (tutte le direzioni) | 30% |
| Cilindrata unitaria | 1300 |
| Ordine di accensione | 1-4-2-6-3-5 |
| Portata pompa acqua motore | ~18400 l/h a 2000 g/motore |
| Scambiatore di calore acqua/olio motore a portata totale<br>Raffreddamento a liquido permanente<br>Combustibile gasolio | |
| Potenza max | 290 CV-213 kW |
| N° di giri max | 2050 rpm |
| Velocità media stantuffo | 8.54 m/s |
| Coppia max | 1100 Nm (112 kgm)<br>tra 1080 e 1800 rpm |
| Regime max a vuoto | 2320 rpm |
| Potenza specifica | 27.34 kW/l |

| | |
|---|---|
| Rapporto peso potenza | 3.7 kg/kW |
| Consumo specifico combustibile | 198 g/kWh a 1600 rpm |
| Consumo olio a potenza max | 0.15 g/kWh |
| Peso a secco (con organi ausiliari standard) | 688 kg |
| Regime minimo | 600 °+0/+25 rpm |

**Basamento motore :** in ghisa stabilizzata, interasse cilindri 138 mm, sottobasamento con cappelli integrati. Struttura con alta capacità di contenimento emissioni sonore, in unico blocco, canne cilindri in ghisa centrifugata e stabilizzata, in umido, sfilabili.

**Testa cilindri:** in ghisa stabilizzata con 1.5% di Nichel, 6 fissaggi per cilindro, 4 valvole per cilindro, condotti gemellati cross-flow; collettore di aspirazione integrato, tunnel per albero di distribuzione con 7 supporti; guarnizione testa cilindri in acciaio multistrato.

**Distribuzione :** comando mediante ingranaggi in acciaio, cementati, rettificati e rasolappati, profilo elicoidale ad alto contatto; catena di distribuzione lato volano.

**Asse a camme:** in testa, acciaio cementato profondo, 3 camme per cilindro (aspirazione, scarico, iniezione); 7 supporti.

**Comando valvole :** mediante bilancieri in ghisa sferoidale. Albero portabilancieri unico con 7 supporti.

**Valvole :** 4 valvole per cilindro; aspirazione : monometallica; scarico : Nimonic.

**Collettore di scarico:** 3 pezzi, in ghisa SIMO, collegati con compensatori in acciaio inox, 4 borchie di fissaggio per condotto.

**Sovralimentazione :** mediante turbina a geometria variabile controllata elettronicamente.

**Raffreddamento :** pompa acqua centrifuga con voluta integrale nel basamento motore, girante chiusa in plastica; comando mediante cinghia poly-v;  termostato a cassetto.
**Iniezione :** mediante iniettore Bosh PDE 30, comando diretto camma di iniezione dell'asse di distribuzione; controllo iniezione mediante centralina Bosh MS6 sistemata su motore lato aspirazione; polverizzatore con 6 fori di 0.24 mm di diametro; pressione di iniezione : 1400 bar max.
**Circuito combustibile:** pompa di alimentazione ad ingranaggi, pressione circuito di mandata 5 bar; circuito a bassa pressione a 3,5 bar; filtro combustibile singolo easy change.
**Avviamento a freddo (-25°)** : mediante riscaldatore aria elettrico posizionato all'ingresso aria alla testa cilindri.
**Anelli stantuffo :** 1° anello trapezoidale, cromato, spigolo inferiore vivo; 2° anello a unghia cromato; 3° anello raschiaolio doppio pattino cromato.
**Biella :** in acciaio stampato microlegato, centraggio cappello mediante dentinatura; lubrificazione occhio piccolo per caduta da galleria di raffreddamento stantuffo.
**Pistone:** in lega di alluminio ipereutettica, camera di combustione ad omega, galleria di raffreddamento, inserto per 1° anello in ghisa.
**Albero motore :** albero microlegato, raccordi su perni di banco e di biella temprati ad induzione; bilanciamento mediante contrappesi integrali; volano smorzatore viscostatico per ridurre le vibrazioni torsionali.
**Lubrificazione :** lubrificazione forzata, pompa olio ad ingranaggi comandata da albero motore, posizionata nel vano distribuzione della scatola copri volano; valvola di controllo a cassetto autoregolante la pressione olio su condotto principale; singola cartuccia easy-change in fibra posizionata su corpo scambiatore; scambiatore di calore acqua-olio

a tubi piatti; valvola termostatica per by-pass scambiatore per migliorare il warm-up olio a freddo; dispositivo di rabbocco automatico olio motore.

**Coppa olio** : in lamiera sospesa elasticamente su di un cuscino di gomma.

**Diagnostica :** diagnostica funzionalità motore eseguita dalla centralina MS6; visualizzazione dei guasti mediante lampeggio spia; interfaccia con sistema computerizzato di officina (MODUS).

**Equipaggiameto standard** : alternatore: n°2 da 24V – 90 A comandati mediante cinghia poly-v; motorino di avviamento : 24V – 4.5kW flangiato su scatola copri volano; compressore aria freni: 630 cc flangiato su basamento, comando ad ingranaggi; pompa servosterzo: 16 cc/rev, 150 bar max, in coda al compressore aria freni; carter volano : SAE 1

**Emissioni** (in g/kWh) conformi alla normativa CEE.

**Tabella 51 :** ***Emissioni***

| Emissioni | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | CO | HC | Nox | Particolato |
| Limite EURO 2 | 4 | 1.1 | 7 | 0.15 |
| Limite EURO 3 | 2.1 | 0.66 | 5 | 0.1 |
| Valori Cursor 8 | 0.63 | 0.16 | 4.70 | 0.043 |

**Turbocompressore :** di marca HOLSET, a geometria variabile; una parete mobile all'ingresso della turbina, gestita elettricamente, adatta continuamente l' effetto della sovralimentazione (turbo) alle esigenze, consentendo di estendere il campo di utilizzo del motore.

**Iniettori-pompa :** con una elettrovalvola, integrata nell'elemento pompa, che assicura il dosaggio del carburante e determina il momento di apertura, cioè l'anticipo all' iniezione. Il funzionamento è gestito da una

centralina elettronica (ECU = Engine Control Unit) di marca BOSH MODELLO PDE 30.

**Compressore aria :** KNORR da 630 cc, calettato su motore, trascinato con ingranaggi, rapporto di compressione 1,13 :1; tempo di riempimento serbatoi da 0 + 11 bar in 150 secondi a max regimi motore; posizione presa dell'aria a valle filtro motore.

**Alternatore :** n°2 Bosh da 90 A.

**Motorino di avviamento :** marca NIPPODENSO, potenza 4.5kW, tensione 24V.

**Pompa idroguida :** da 21 cc/giro calettata su compressore aria, rapporto di trasmissione 1,13:1

**Pompa gasolio :** in tandem con pompa idroguida; n°1 pompa idraulica da 16 cc/giro con rapporto di trasmissione 1,7:1 con motore per la funzione comando ventilatore da 19 cc/giro

Un compressore condizionamento per vano passeggeri CARRIER 4T 57 e un compressore condizionamento separato vano autista (optional).

### 5.4.2 Raffreddamento Motore

Circuito di raffreddamento pressurizzato a liquido, con circolazione comandata da pompa centrifuga su motore; gruppo termostati separati dal motore; taratura termostati : 79°C +/-2 inizio apertura, ap. Max 94°; impianto con tubi in rame e manicotti siliconici; scambiatore acqua/olio su motore per raffreddamento olio motore.

**Radiatore :** sistemato sullo sbalzo posteriore a sinistra, parallelo alla direzione di marcia; vaschette orizzontali in ottone, alette in rame e tubetti Mccord a 4 ranghi, superficie 49 $dm^2$ con vaschetta di espansione

della capacità di 15 litri; circuito pressurizzato con tappo 0.5 bar e tappo di sicurezza tarato a 0.7 bar.

**Ventola di raffreddamento :** a 9 pale, diametro 620 mm, azionata con motore idraulico tipo Bosh da 19 cc/giro su cui è direttamente calettata, con regolazione della velocità in funzione della temperatura del liquido di raffreddamento. L'impianto idraulico è munito di una pompa da 16 cc/giro azionata dal motore e regolata da una elettrovalvola Bosh con centralina elettronica Bosh; il sistema permette di regolare la velocità della ventola di raffreddamento in funzione della temperatura del liquido refrigerante da 83°C a 89°C.

### 5.4.3 Alimentazione Del Combustibile

Serbatoio in materiale plastico da 230 litri sistemato davanti al ponte a destra; bocchettone di riempimento con tappo ad apertura rapida in apposita nicchia su fiancata; pescherino carburante con maglia di ritegno impurità per alimentazione; pescherino per alimentazione generatore autonomo di calore; trasmettitore di livello; valvola di sfiato su serbatoio; pompa di alimentazione a pistone, pompa di adescamento manuale a pistone e filtro cartuccia; termoavviatore automatico; prefiltro gasolio riscaldato con sedimentazione acqua e indicatore presenza acqua.

### 5.4.4 Alimentazione Aria Motore

Presa di aria esterna sul lato destro veicolo, sullo sbalzo posteriore in alto, in zona pulita, con funzione di separazione acqua piovana; filtro a secco Mann & Hummel con cartuccia diametro 240mm, lunghezza 480mm; dispositivo di segnalazione filtro intasato; Turbocompressore su motore a geometria variabile; scambiatore di calore aria/aria per la refrigerazione dell'aria immessa nel motore.

### 5.4.5 Scarico Motore

Silenziatore sistemato nello sbalzo posteriore a sinistra sotto il pavimento; scarico a padiglione nella parte posteriore veicolo a sinistra, con dispositivo per evitare l'ingresso dell'acqua piovana.

### 5.4.6 Cambio

ZF 5HP 502C : composto da convertitore idrocinetico di coppia a da 4 treni epicicloidali che realizzano 5 velocità in marcia in avanti e retromarcia e da un rallentatore idraulico separato; per il raffreddamento dell'olio è installato uno scambiatore di calore acqua/olio; comando a pulsantiera sul cruscotto; funzione di messa in folle automatica alle fermate per risparmio carburante; in alternativa cambio VOITH D854.3.

### 5.4.7 Trasmissione

Ad albero cardanico unico con giunto scanalato e crociere su cuscinetti a rullini forniti da Klein o GWB.

### 5.4.8 Assale

Iveco rigido ribassato

## 5.5 TELAIO

Struttura a longheroni e traverse in acciaio a sezione prevalentemente chiusa , in acciaio autopassivante tipo Corten; mensole collegate alle estremità con correnti longitudinali di collegamento ai montanti fiancate.

## 5.6 SOSPENSIONI

Di tipo WABCO ECAS con impianto pneumatico integrale con correttore di assetto a controllo elettronico atto a mantenere il piano di calpestio del veicolo a livello pressoché costante indipendentemente dalle condizioni di carico; è possibile attraverso un selettore impostare l'abbassamento automatico del veicolo fermo con porte aperte di circa 15mm; dispositivo di sollevamento (70mm) ed abbassamento (70mm) veicolo rispetto all'assetto in marcia; dispositivo di inclinazione trasversale (kneeling) alle fermate, comandato dall'autista costituito da : n° 3 sensori di livello, due posteriori, uno anteriore; n°1 gruppo valvolare per l'alimentazione delle molle aria dell'assale e delle molle aria ponte; centralina elettronica di controllo.

## 5.7 FRENI

Bidisco Brembo a comando pneumoidraulico sull'asse anteriore e freni a tamburo Simplex sull'asse posteriore a comando pneumatico Wabco. Impianti con serbatoio aria in lega leggera, per i posteriori tubazioni in poliammide esclusi flessibili e per l’anteriore tubazioni in poliammide per circuito pneumatico e in acciaio inox per olio freni ad eccezione dei flessibili alle ruote. Per lo stazionamento/soccorso attuatori meccanici con comando pneumatico con dispositivo sbloccaggio d’emergenza telecomandato e possibilità di sblocco anche tramite comando a vite sull’ attuatore. Inoltre dispositivo rallentatore integrato nel cambio ed azionato tramite il pedale del freno di servizio.

## 5.8 IMPIANTO ELETTRICO

### 5.8.1 Concetto di massa e compatibilità elettromagnetica

L'impianto elettrico è, tradizionalmente, un impianto unipolare. La carrozzeria, il telaio, l'involucro metallico dei componenti elettromeccanici fungono da conduttore equipotenziale di ritorno al generatore, in quanto qualsiasi punto della loro struttura metallica o qualsiasi loro morsetto negativo non isolato è al medesimo potenziale di riferimento o massa. Ecco perché è stata scelta la massa come riferimento a tutto l'impianto, dandole, convenzionalmente, valore di tensione zero Volt. Per ovvie ragioni costruttive nella rete negativa dell'impianto affluiscono vari punti di massa posti sul veicolo in funzione dell'ubicazione dei componenti sul telaio, sul motore e sulla carrozzeria. Idealmente, invece, tutti gli apparati dovrebbero essere collegati ad un solo punto di massa al fine di assicurare ad essi, ed in particolar modo per gli apparati elettronici, un riferimento di massa chiaramente definito. Per le ragioni suddette si deve distinguere la massa di alimentazione o massa impianto, caratterizzata da forti intensità di corrente continua (> I A per i componenti elettromeccanici), dalla massa analogica, caratterizzata da forme d'onda a determinate frequenze e di intensità di corrente piccolissima (mA, µA) dei sistemi elettronici. La definizione della massa di segnale o massa analogica dipende dalla sensibilità dei sistemi elettronici alla EMC (compatibilità elettromagnetica), in quanto segnali parassiti, emessi da sistemi di bordo o esterni al mezzo, inducono malfunzionamenti e/o degradazioni dei sistemi stessi. Al fine di minimizzare disturbi o interferenze, sia continue che transitorie, generate da irradiazioni parassite, è di fondamentale importanza tenere sempre presente che la buona efficienza del piano di riferimento o massa impianto dipende, in ciascuno dei suoi punti di collegamento, dalle ottime caratteristiche di conducibilità (resistenza di contatto tendente a zero). In sintesi possiamo dire che la massa intesa come conduttore elettrico equipotenziale, ovvero come riferimento di potenziale di tutta la

componentistica elettrica/elettronica di bordo, si suddivide in massa impianto ed in massa analogica.

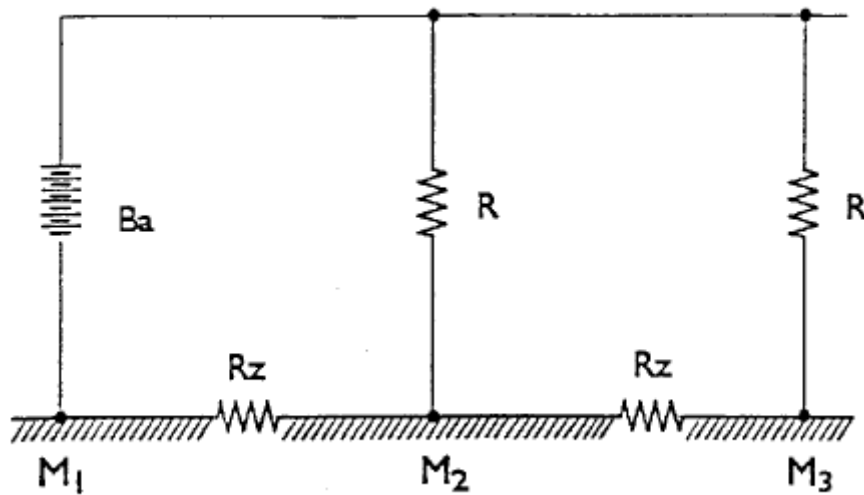



**Figura 63 :** ***Circuito equivalente della rete elettrica del veicolo***. **Ba** batteria, **R** carichi, **Rz** impedenza telaio, **M** massa.

### 5.8.2 Rete di potenza

Il fine dell'impianto elettrico (di tipo Multiplex denominato MULTIBUS ACTIA funzionante con tensione nominale di 24V) è quello di generare, regolare, accumulare e distribuire l'energia necessaria al funzionamento egli utilizzatori del veicolo.

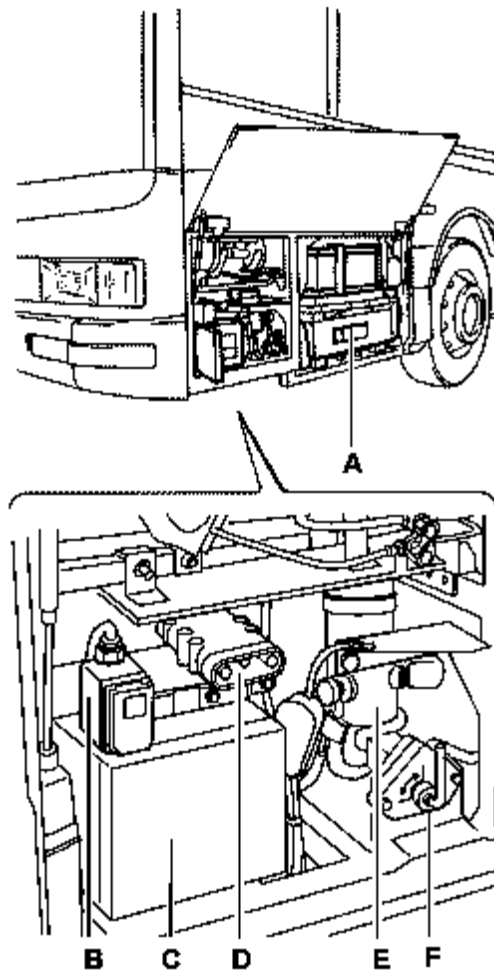



**Figura 64 :** *Componenti Elettrici Nel Vano Anteriore Sinistro.* **A** Batteria, **B** Presa di corrente servizi, **C** Scatola magnetotermici di potenza, **D** Presa di corrente per avviamento dall'esterno, **E** Teleruttore Generale di Corrente (TGC), **F** Deviatore di corrente.

L'alimentazione dell'impianto elettrico è assicurata da due **alternatori** (generatori) da 90 A, con erogazione di 28 V, con regolatore incorporato, elettricamente collegati a regolatore di tensione posto nel pannello posteriore, e da 2 batterie, collegate in serie, da 12 V 220 Ah, 900 A ciascuna e la tensione nominale ai capi delle 2 batterie risulta quindi di 24 V. Le **batterie** sono disposte sotto il posto autista in un apposito vano sul lato sinistro anteriore del veicolo e montate sovrapposte, ciascuna su

cestello girevole, con fermi di fine corsa sia in posizione di apertura sia di chiusura.

Il cavo che collega il morsetto negativo delle batterie alla massa telaio è interrotto da un **deviatore sezionatore generale** di corrente a comando manuale, posizionato a fianco del vano batterie, in modo da isolare l’impianto elettrico durante la fase di avviamento da terra, avente le funzioni di stabilire il collegamento fra il negativo della batteria e del generatore con il telaio e stabilire il collegamento del negativo, presa di corrente per avviamento dall'esterno, con il telaio;

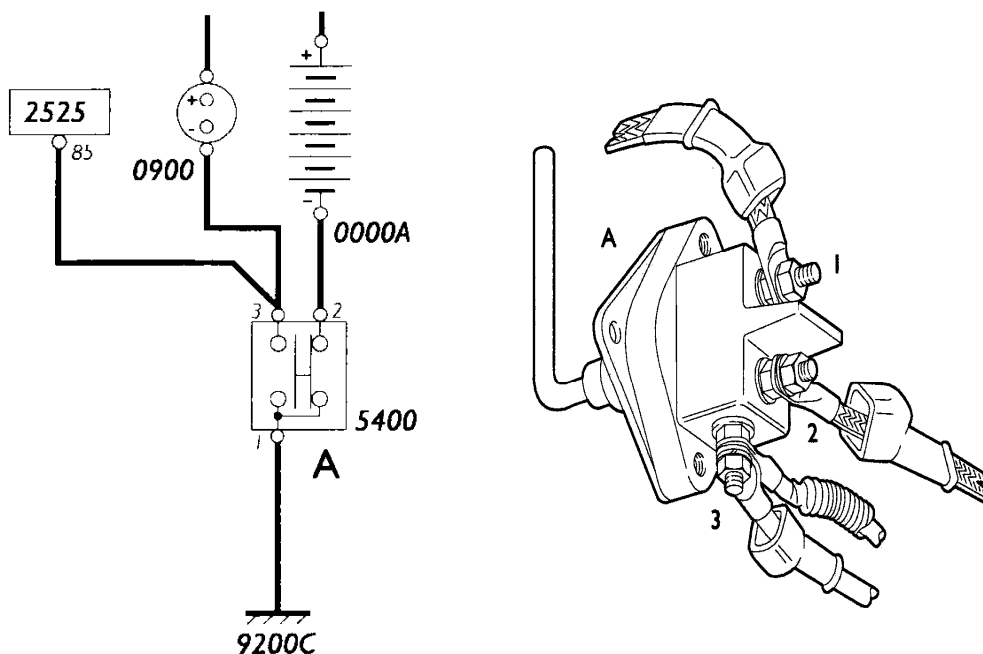



**Figura 65 :** ***Deviatore/sezionatore di corrente e schema semplificato della rete negativa***

Il deviatore presenta quindi 3 morsetti : quello 1 è collegato tramite una treccia alla massa telaio 9200C (cavo da 70 $mm^2$ ), il 2 è collegato tramite una treccia al morsetto negativo delle batterie, infine il 3 è collegato tramite una treccia al morsetto negativo della presa di corrente per

l'avviamento da terra e tramite un cavo di sezione 1 $mm^2$ ad un pin(85) del teleruttore di arresto motore(2525).

Il **teleruttore generale di corrente** (TGC), posto nel vano batterie, in serie tra il morsetto positivo delle batterie, il motorino di avviamento e i servizi e azionabile dal posto guida mediante due interruttori a pulsante (inserimento/disinserimento) per l'esclusione di tutti i carichi ad esclusione di : circuito comando porta anteriore dall'esterno, luci di posizione, luci di emergenza, alimentazione elettrica per teletrasmissioni, luci interne di emergenza, circuito preriscaldo motore (optional), rabbocco automatico olio motore;

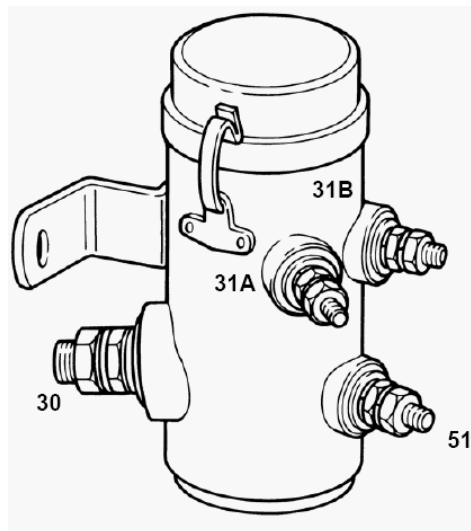



**Figura 66 :** ***Teleruttore generale di controllo (TGC)***

Il **motorino di avviamento** ha una potenza di 4.5 kW ed è collegato alla massa tramite il gruppo motore su cui è fissato; i componenti elettrici nel vano motore sono collegati alla massa tramite un punto di massa ubicato nel lato destro del vano motore; il gruppo motore è collegato alla massa tramite una treccia al telaio del veicolo; gli alternatori hanno un morsetto collegato alla massa tramite una treccia fissata al gruppo motore; i diversi pannelli elettrici presenti sul veicolo sono collegati a terra tramite

opportuni punti di massa. Per quanto attiene invece alla rete positiva : il morsetto positivo delle batterie è collegato tramite un cavo da 70 $mm^2$ a un morsetto del TGC, cui è collegato anche un cavo della presa di corrente per l'avviamento dall' esterno e un altro cavo si collega a un morsetto di un termico di potenza; altri morsetti alimentano : un termico di potenza, il termico della climatizzazione e un **teleruttore scambio circuito avviamento ricarica** (morsetto 31) posto sul retro che presenta una bobina collegata a massa(morsetto 85), un morsetto (31A) che alimenta il motorino di avviamento (tramite un cavo avente una sezione di 70 $mm^2$) e un connettore della centralina IOU che alimenta la bobina (morsetto86). Gli alternatori, primario e secondario, sono alimentati positivamente tramite cavi di sezione di 25 $mm^2$ collegati a morsetto (31) del teleruttore scambio circuiti avviamento/ricarica.

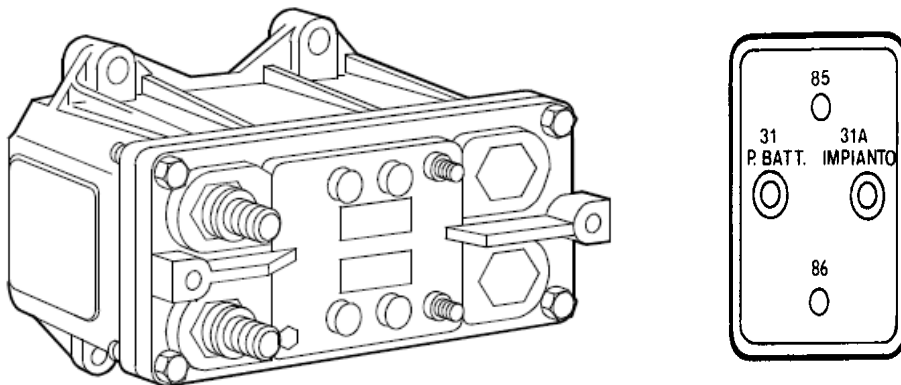



**Figura 67 :** ***Teleruttore scambio circuiti avviamento/ricarica e vista morsetti***

L'impianto elettrico è in corrugato per una agevole sostituzione/aggiunta di cablaggi ed una migliore tenuta agli agenti atmosferici con **copricorda** generalmente in bronzo fosforoso e **cavi unipolari** isolati in PVC rispondenti alle norme CEI 20-22 II, con colore marrone per le masse, blu per le altre funzioni, bianco per cavi liberi a disposizione; infine sono presenti targhette di identificazione per gli apparecchi, ove possibile, per un più agevole intervento manutentivo. Nelle figure successive si

riportano i componenti elettrici presenti nel vano motore e il cablaggio dell'impianto elettrico sul motore e le relative didascalie.

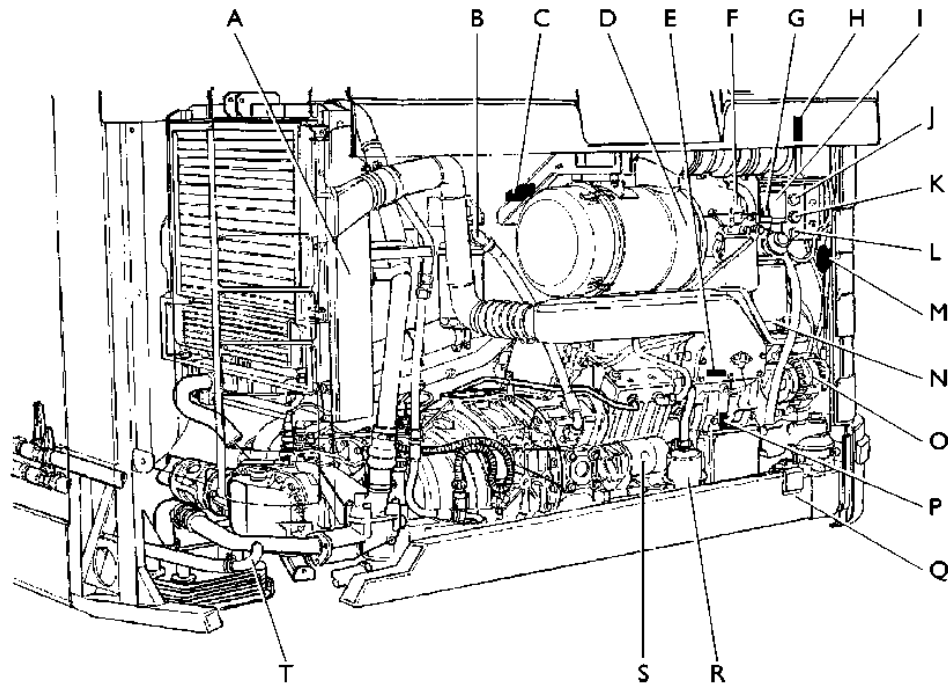



**Figura 68 : C*omponenti elettrici vano motore. A*** Elettrovalvola impianto idraulico raffreddamento motore, **B** Pressostato intasamento filtro circuito raffreddamento motore, **C** lampada illuminazione vano motore, **D** Pressostato intasamento filtro aspirazione aria motore, **E** Resistenza pre-post riscaldo, **F** termostato disinserzione resistenza riscaldamento combustibile, **G** Resistenza riscaldamento filtro gasolio, **H** Finecorsa asservimento circ. portello motore, **I** Presa di corrente di servizio, **J** Pulsante avviamento motore da vano motore, **K** Pulsante arresto motore da vano motore***, L*** Interruttore esclusione avviamento motore da posto guida e da vano motore, **M** Avvisatore acustico veicolo in manovra di retromarcia***, N*** Sensore rilevamento presenza acqua nel filtro gasolio, **O** Alternatore per impianto di ricarica, **P** Teleruttore inserzione termoavviatore o candeletta preriscaldo, **Q** Alternatore per impianto di ricarica, **R** Sensore basso livello olio nella coppa motore, **S** Motorino d'avviamento, **T** Termostato per circuito raffreddamento refrigerante motore

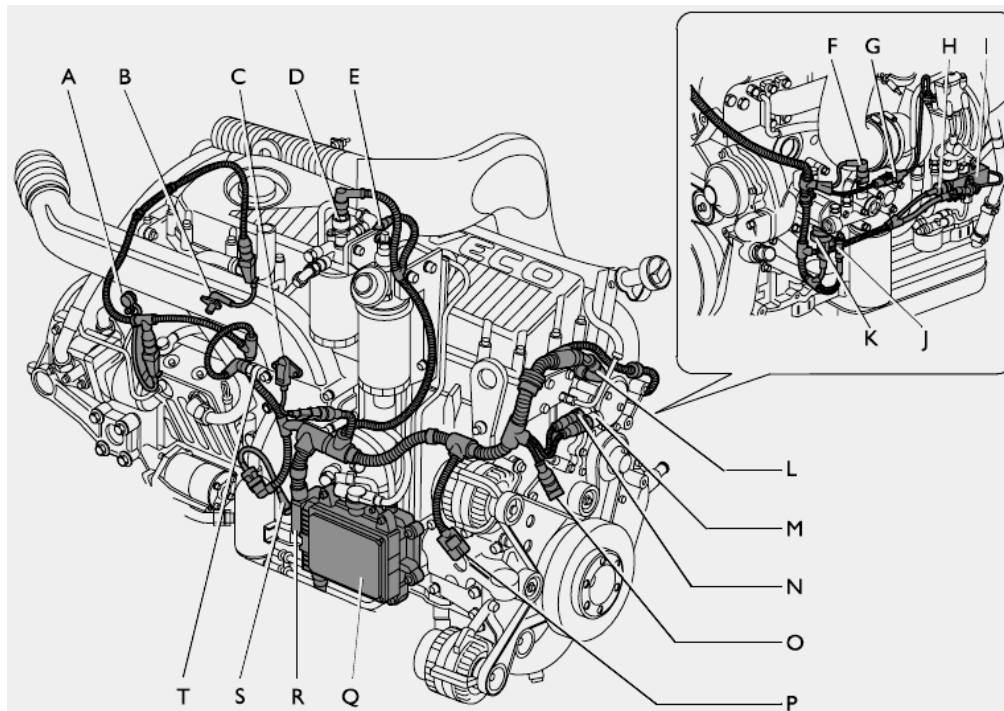



**Figura 69 :** ***Cablaggio impianto elettrico su motore.*** **A** Sensore numero giri motore su albero distribuzione, **B** Sensore numero giri motore su volano, **C** Sensore pressione di sovralimentazione, **D** Sensore temperatura combustibile, **E** Sensore intasamento filtro combustibile, **F** Sensore intasamento filtro olio motore, **G** Sensore numero giri turbocompressore, **H** Sensore pressione precamera turbina, **I** Elettrovalvola comando turbina a geometria variabile, J Pressostato segnalazione bassa pressione olio motore, **K** Trasmettitore per manometro olio motore, **L** Connettore per elettrovalvole iniezione elettronica, **M** Sensore temperatura liquido di raffreddamento motore, **N** Termostato segnalazione massima temperatura liquido raffreddamento motore, **O** Connettore per elettrovalvola freno motore (non presente), **P** Giunto volante a 12 vie per collegamento al cablaggio vano motore, **Q** Centralina elettronica gestione motore, **R** Connettore a centralina elettronica gestione motore, **S** Sensore basso livello olio motore, **T** Sensore temperatura aria di sovralimentazione.

### 5.8.3 Multibus ACTIA

Il sistema MULTIBUS ACTIA è un sistema modulare composto da un certo numero di **ECU** (Unità Elettronica di Controllo), in grado di gestire l'impianto elettrico del veicolo. Le ECU sono controllate tra loro

attraverso una linea seriale secondo il protocollo CAN. Sul veicolo sono previste tre tipi di ECU: n°1 **CMU** (CENTRAL MANAGEMENT UNIT), n°9 **IOU** (INPUT/OUTPUT UNIT), n°1 **SCU** (SCREEN CONTROL UNIT); inoltre sono stati adottati interruttori/spie particolari, raggruppati in moduli elettronici da otto unità l'uno : n°4 **SLU-A** (SWITCH LIGHT UNIT) interruttori, n°3 **SLU-B spie**.

**L'unità di gestione centrale (Cmu):** gestisce lo scambio di dati nell'impianto seriale e centralizza i dati di tutte le ECU periferiche inserite sulla linea CAN; in questo modo i dati gestiti dall'intero sistema confluiscono nella CMU rendendone possibile la gestione e l’ elaborazione con un unico accesso, agevolando, ad esempio, le procedure di diagnostica venendo meno la necessità di diagnosticare ogni singolo attuatore spesso posizionato alla periferia dell'impianto. Inoltre possono essere memorizzate delle funzioni specifiche per la personalizzazione del veicolo alle richieste del cliente nella CMU che acquisisce tutti i dati delle IOU ed elabora i nuovi output in funzione della specifica personalizzata; il programma è immagazzinato in una Flash Eprom e può essere modificato con uno strumento di diagnostica ; in definitiva la Cmu riceve i segnali dagli interruttori e dai trasmettitori ed indirizza i carichi alle utenze (cruscotto, luci, ecc) ogni 50ms.

**Le unità di ingresso/uscita (I/OU) :** sono unità utilizzate per monitorare e pilotare la maggior parte dei sensori elettrici e delle utenze nel veicolo. Possono essere collegate direttamente con la maggior parte dei sensori (di temperatura, di pressione, interruttori, ecc.), possono pilotare direttamente, senza necessità di interruttori di protezione, le lampade (direzione, fari,luci, stop, posizione, fendinebbia, ecc.), i motori (motorino tergicristallo, ventole riscaldamento/sbrinamento, motori porte elettriche, ecc.) ed altri carichi (avviamento motore e relè stop motore, elettrovalvole,ecc.). Inoltre le I/OU sono in grado di pilotare funzioni

locali, senza l'intervento della CMU e di pre-elaborare i dati da trasmettere alla CMU in modo da non sovrasaturare l'unità centrale.

**SCU (Screen control unit) :** è un unità dotata di display retroilluminato 240X360 pixels posizionata sul cruscotto davanti all'autista e la sua funzione principale è quella di visualizzare informazioni elaborate dall'impianto elettrico/elettronico, attraverso apposite pagine richiamabili a mezzo di tasti di avanzamento/retrocessione(+/-), tutte le informazioni per la guida normalmente assolte da strumenti tradizionali, quali manometri, termometri, spie, ecc., o da altre segnalazioni di servizio. Il display inoltre è utilizzato per visualizzare le avarie e i dati per diagnostica e manutenzione; accanto al display sono posizionate alcune spie obbligatorie di legge. A disposizione degli operatori sono presenti due tasti per lo scorrimento delle pagine del display, un tasto di commutazione immagini in negativo/positivo, due tasti per il contrasto.

**SLU -A e -B (Switch light unit)** sono unità elettroniche modulari : le SLU A (pulsanti o spie) sono corredate di circuito elettronico in modo di essere collegate al sistema direttamente con il cavo seriale evitando di dover collegare ciascun interruttore con cavi tradizionali al sistema; possono essere dotate di interruttori instabili che consentono una individuazione notturna con bassi livelli di illuminazione in abbinamento alle luci di posizione, la segnalazione dell' inserimento di una data funzione con alti livelli di illuminazione; le SLU B sono la base elettronica delle unità A aventi la funzione di convertire i segnali on/off provenienti sia dai comandi effettuati con strumenti tradizionali (e quindi non attraverso le SLU A), sia dai vari sistemi del veicolo, in modo che possono essere canalizzati nel sistema multiplex e quindi gestiti con evidenti semplificazioni circuitali e di cablaggio. Il sistema Multibus Actia gestisce gli impianti di carrozzeria (illuminazione interna ed esterna), porte elettriche e pneumatiche, rampa e postazione disabile,

strumentazione posto guida, monitoraggio delle funzionalità dei sistemi controllati, acquisizione e gestione dati di esercizio.

### 5.8.4 Avviamento Motore

E' costituito da un pulsante di avviamento, un motorino di avviamento, un termoavviatore ad inserimento automatico, un teleruttore sul motorino di avviamento e uno di scambio nel vano motore per utilizzare lo stesso cavo di potenza per avviamento e carica.

### 5.8.5 Protezione Circuiti

I circuiti sono protetti da interruttori magnetotermici automatici a riarmo manuale raggruppati in apposito box a tenuta nel vano batterie per la distribuzione di energia a tutto l'impianto e nel pannello a padiglione e in due pannelli alloggiati nei canali aria per la protezione selettiva dei circuiti. Ogni interruttore è identificato da targhetta indicante la funzione ed il valore nominale di intervento.

### 5.8.6 Devioguida

In esso vengono raggruppate alcune funzioni come il comando luci anabbaglianti, di profondità e lampeggio con la leva superiore sinistra, le luci di direzione e avvisatore acustico con la leva superiore sinistra e il comando tergicristallo e lava parabrezza con la leva destra.

### 5.8.7 Sbrinamento

Nella parte anteriore del telaio è posto un apparecchio per lo sbrinamento del parabrezza e per il riscaldamento del posto guida. L'aria viene

prelevata dell'esterno attraverso apposita canalizzazione del tegolo sinistro del veicolo, in zona non direttamente contaminata dai gas di scarico dei veicoli antistanti ed inviata all'apparecchio sbrinatore a mezzo di due ventilatori in serie. L'apparecchio sbrinatore, predisposto per l'applicazione di un evaporatore per il condizionamento dell'aria, è dotato di scambiatore acqua/aria avente una capacità di portata di aria di 540mc/ in I, di 650 mc/h in II, di 850 mc/in III e una potenzialità di 12000kcal/h, con temperatura acqua in ingresso di 80° e portata di acqua di 800 l/minuto.

### 5.8.8 Cruscotto

Il posto guida è dotato di quattro zone su cui sono posizionati gli apparecchi.

#### *5.8.8.a Cruscotto laterale*

Nel cruscotto laterale sono presenti componenti di tipo tradizionale per le seguenti funzioni: manettino comando freno stazionamento, valvola di sicurezza consenso sbloccaggio freno stazionario e relativa spia, pulsante rosso apertura T.G.C., pulsante verde chiusura T.G.C., interruttore centrale di emergenza, pulsantiera cambio con illuminazione tasti a marcia effettivamente inserita, interruttore chiave servizi a due posizioni, pulsante avviamento motore con spia gialla per termo avviatore inserito, pulsante arresto motore, commutatore a 4 posizioni per sbrinamento parabrezza, commutatore a 3 posizioni per riscaldamento supplementare posto guida. Sono inoltre presenti due moduli SLU –A con le seguenti funzioni: 1) modulo SLU –A 1 con : interruttori instabili per il comando del condizionamento posto guida e passeggeri, per il riciclo aria interna e resistenza porta anteriore e spie per la segnalazione di fuori livello ECAS (sospensione pneumatica controllata elettronicamente) e spia

riscaldamento autista; 2) modulo SLU –A4 con interruttori instabili per il comando di luci interne, deviatore porta anteriore, retronebbia, test spie, sbrinamento specchi e spie per le segnalazioni di basso livello combustibile e sbrinamento parabrezza.

#### *5.8.8.b Cruscotto anteriore*

Nel cruscotto anteriore sono presenti il tachigrafo e spie incorporate nella SCU ai lati del display per : luce di direzione, luci esterne, luci abbaglianti, veicolo fermo, freno di stazionamento, fermata normodotato, fermata disabile, ripetitrice avarie, avaria freni, ASR in funzione, avaria ABS. Sono inoltre presenti delle unità SLU –A5 per l'attivazione kneeling, abilitazione postazione disabile, luce autista, luci anabbaglianti/abbaglianti, comando luci esterne, comando fuoriuscita rampa, comando rientro rampa, interruttore veicolo fermo.

#### *5.8.8.c Cruscotto satellite*

Sul cruscotto satellite sono presenti i seguenti componenti: pulsante apertura porta anteriore, pulsante apertura porta centrale, spia porta aperta anteriore, spia porta aperta centrale. Sono inoltre presenti un monitor anteriore, uno centrale e uno posteriore opzionale, un terminale RCC.

#### *5.8.8.d Cruscotto sopra il finestrino autista*

In tre plance a dente di sega sono disposti i comandi cartelli indicatori di linea e percorso, il comando orientamento specchi retrovisori, comandi per le botole posteriori ed anteriori, interruttori monostabili per il livello nominale veicolo e sollevamento/abbassamento veicolo, interruttore bistabile per la preselezione asse anteriore/posteriore e interruttori piombati per lo sblocco cilindri freno stazionamento, lo sblocco marce, sblocco movimento veicolo, sblocco reversibilità porte.

### 5.8.9 Funzionalità del display

Sul cruscotto anteriore è montata l'unità SCU dotata di display con messaggi riportati su apposite pagine e richiamabili tramite appositi tasti, che prevede tre diversi livelli utilizzati a seconda delle attività specifiche dall'autista, dal manutentore o da persona abilitata.

## 5.9 RILEVAMENTO GUASTI

L'impianto permette di rilevare la presenza di guasti ad un attuatore o a un sensore connesso: grazie a delle I/OU per le anomalie che si presentano sulle uscite che rilevano un difetto di corto circuito o circuito aperto e inviano l'informazione all'unità centrale (CMU) che provvede alla visualizzazione. L'unita di ingresso/uscita per le anomalie relative ai sensori inviano i valori misurati in continuazione che la CMU poi elabora confrontandoli con determinate soglie memorizzate al proprio interno. All' autista poi vengono evidenziate le anomalie o attraverso messaggi sul display o tramite segnalazione sulla spia che segnala l'attivazione della funzione che non si accende in presenza di un anomalia del componente azionato.

## 5.10 COMANDO CENTRALE DI EMERGENZA

Il veicolo è dotato di un impianto centrale di emergenza (secondo la normativa CUNA NC 571-20) azionabile tramite pulsante di colore rosso posto sul cruscotto laterale che comporta l'arresto del motore, l'interruzione dell'alimentazione elettrica ad esclusione del circuito di alimentazione per le teletrasmissioni, segnali di pericolo, luci interne di emergenza, accensione dei segnali di pericolo, accensione luci di emergenza esterne.

## 5.11 IMPIANTO PNEUMATICO

Presa d'aria per compressore posta a valle filtro aria; compressore bicilindrico marca Knorr da 639 cc; calettato su motore e trascinato da ingranaggi con rapporto di trasmissione 1,13 :1; separatore di condensa tipo Haldex con valvola pilotata a mezzo timer di scarico condensa; essiccatore d'aria monocamera Haldex dotato di resistenza elettrica anticongelamento ad intervento automatico; cartucce di tipo avvitato; regolatore di pressione integrato all'essiccatore tarato a 11 +/- 0,2 bar (pressione di apertura) e 10,3 +0,3 bar (pressione di chiusura); dispositivi per scarico condensa manuale dai serbatoi raggruppati in posizione facilmente accessibile. Valvole di protezione a quattro vie tipo Wabcoo.

## 5.12 TUBAZIONI

In poliammide per la frenatura e servizi e per le sospensioni, acciaio per l'impianto idroguida, inox per l'impianto idraulico freni anteriori, acciao e poliammide per combustibile.

## 5.13 GUIDA E STERZO

Guida a sinistra con volante regolabile sia in altezza , sia in inclinazione con albero di comando da rinvio a guida e tirante longitudinale su fuso a snodo sinistro e barra d'accoppiamento, collegamenti con snodi sferici; scatola guida con idroguida a circolazione di sfere, servoassistita idraulicamente.

## 5.14 RUOTE E PNEUMATICI

Ruote del tipo a disco con dimensioni 7,5" x 22,5"

**Tabella 52 :** ***Caratteristiche Pneumatici***

| Caratteristica | Valore |
|---|---|
| Asse anteriori : singoli | 275/70 R22,5 |
| Asse posteriore : gemellati | 275/70 R22,5 |
| Raggio sotto carico | 448 mm (Michelin) |
| Circonferenza rotolamento | 2952 mm (Michelin) |
| Peso pneumatico | 52,3 kg |
| Peso cerchio | 41,6 kg |
| Pressione anteriori e posteriori | 8 bar |

## 5.15 RIFORNIMENTI

**Tabella 53 :** ***Rifornimenti***

| Denominazione Rifornimenti e Lubrificanti | Litri | Lubrificanti (consigliati da Iveco prodotti FL) |
|---|---|---|
| Serbatoio combustibile | 300 | Gasolio a norma EN 590 |
| Olio coppa motore + filtri<br>Coppa motore<br>Rabbocco olio motore<br>Specifica API CF SAE15W40 | 25,5<br>21,5<br>≈25 | Urania LD7 |
| Olio scatola cambio Voith 854.3<br>ZF 5HP 502C<br>A.T.F.DEXRON III –ZF TE-MIL. 09A e 14C | 26<br>17 | Tutela ATF 90 |
| Liquido raffreddamento<br>CUNA NC 956-16 IVECO STANDARD 18- 1830 FIAT 9.55523 | 60 | Acqua + Paraflu |
| Olio idroguida<br>A.T.F.DEXRON II D | 6,5 | Tutela GI/A |

| Olio comando ventilatore | 10 | Tutela GI/A |
|---|---|---|
| Olio per differenziale<br>Specifica MIL-L-2105 D-API GL 5<br>SAE80W90 SAE80W140<br>Mozzo anteriore (ciascuno) | 25<br><br><br>0,35 | Tutela W140/M-DA(climi caldi)<br>Tutela W90/M-DA(climi freddi) |
| Fluido freni idraulici e frizione<br>NORME N.H.T.S.A. n. 116-DOT4 ISO 4925-Std. SAE J 1703 CUNA NC 956-01 IVECO STANDARD 18-1820 | | Tutela TRUCK DOT SPECIAL |
| Serbatoio liquido tergicristallo<br>CUNA NC 956-11 | 7 | DPI |
| Grasso per ingrassaggio generale<br>A base di saponi di litio, consistenza N.L.G.I n. 2 | | Tutela MR 2 |
| Grasso specifico per cuscinetti<br>A base di saponi di litio, consistenza N.L.G.I n. 3 | | Tutela MR 3 |
| Grasso impianto lubrificazione centralizzata a base di saponi di litio con base sintetica N.L.G.I n.2 | | Tutela COMAR 2 |
| Lubrificante guarnizioni porte N.L.G.I n.2 | | Tutela SILICON DE |
| Lubrificante guide rampe salita<br>Antiossidante a bassa tensione superficiale con proprietà idrofughe, sbloccanti, lubrificanti e protettive | | 6 in 1 |

## 5.16 CASSA LASTRATA

La struttura del veicolo è costituita principalmente da ossatura di tubi in acciaio a sezione rettangolare, collegati tra loro mediante saldatura ad arco e da opportuni rinforzi. La composizione della scocca avviene mediante unione per saldatura dei grandi gruppi costituenti ossia telaio,

fiancate, padiglione e testate che vengono preventivamente assemblati. La struttura del telaio e della scocca è in acciaio auto passivante per una maggior resistenza alla corrosione.

### 5.16.1 Rivestimenti esterni

Il rivestimento esterno padiglione è costituito da unico pannello in lega leggera preverniciato e incollato sulla struttura. Le strutture reticolari sopra i finestrini sono rivestite da pannelli in lega leggera preverniciata incollati. Il rivestimento superiore sulla testata anteriore, in resina poliestere, è realizzato in un unico stampo, conglobante il vano per il cartello indicatore di linea e la sede per il montaggio del parabrezza. Il rivestimento sotto il filo parabrezza superiormente è costituito da un pannello in resina poliestere smontabile con viti e da uno sportello mobile in vetroresina per l'accesso ai tergitori ed alle apparecchiature sottostanti. Il rivestimento fiancate è costituito superiormente da pannelli compositi in lega leggera incollati alla struttura e da pannelli in lega leggera smontabili nella parte inferiore. Il rivestimento della testata posteriore è realizzato in resina poliestere; il portellone motore è in lega leggera. Il rivestimento esterno è classificato come autoestinguente (in 60 s con $v_{comb.}$ = 0 mm/minuto) per la zona posteriore mentre le restanti resine sono a bassa propagazione di fiamma.

### 5.16.2 Protezione anticorrosione – verniciatura

La struttura del telaio è costituita da acciaio auto passivante. Il ciclo di trattamento prevede un fosfosgrassaggio automatico in bonder, pulizia e protezione zone interessate da successiva saldatura e da montaggio gruppi, verniciatura antiruggine, essicazione ad 80°, sigillatura perimetrale giunzioni. Il ciclo di verniciatura prevede : carteggiatura parti

in lega e vetroresina, de ossidazione e fosfosgrassaggio, lavaggio con acqua calda industriale ed acqua deionizzata, asciugatura in forno ad 80°, protezione zone da non verniciare, pulizia superfici esterne, spruzzatura antiruggine, applicazione antirombo, cottura vernici a 60°, spruzzatura di due mani di fondo,cottura in forno a 60°, revisione mano di fondo, pulizia totale veicolo, applicazione a due mani di smalto, cottura in forno a 60°, sigillatura di finizione con sigillanti/adesivi poliuretanici, applicazione pellicole adesive zone previste in nero. Particolare cura è posta nell'evitare o nel ridurre al minimo le tensioni galvaniche interponendo nastri e paste d'isolamento tra materiali metallici diversi. Tutte le giunzioni delle lamiere sono sigillate durante la fase di assemblaggio della scocca con prodotti poliuretanici e polisolfurici verniciabili che mantengono nel tempo le caratteristiche di elasticità in misura tale da assorbire le sollecitazioni ed evitare crettature dello smalto.

### 5.16.3 Isolamento termoacustico

L'ottimizzazione termoacustica dei gruppi meccanici e delle parti di carrozzeria è realizzata attraverso: l'interposizione di materiale, classificato di classe 1 di reazione al fuoco secondo il D.M. 26/6/84, avente un coefficiente di trasmissione di calore inferiore a 2 $\frac{Kcal}{hm^2C^{\circ}}$ nell'intercapedine tra rivestimento esterno e le pannellature di rivestimento interno *padiglione*, l' adozione di rivestimento *interno* ($v_{comb.}$ = 0 mm/min secondo UNI ISO 3795) testata posteriore in composito ottenuto dall'assemblaggio di materiali per isolamento termoacustico incorporato nel manufatto in resina poliestere, pavimento in multistrato di betulla insonorizzato nella parte posteriore, cuffie passaruota posteriori e podest posteriore sx isolati con rivestimento

acustico, sportello motore isolato con pannello acustico, *vano motore* isolato con pannelli di materiale fonoassorbente e termoisolante (di Classe 1 secondo D.M. 26/06/84 e $v_{comb.}$ = 0 mm/min secondo UNI ISO 3795), per minimizzare gli effetti acustici sia all'interno che all'esterno dell'abitacolo, adozione di pannelli fono assorbenti e fono isolanti al di sotto del vano motore al fine di realizzare l'incapsulamento completo dello stesso.

### 5.16.4 Paraurti

Anteriore e posteriore aggettanti rispetto ad altri ingombri, realizzati in resina poliestere rinforzata con fibre di vetro, avente spessore di 4 mm, fissati rigidamente al telaio. I paraurti anteriore e posteriore sono realizzati in tre parti, uno centrale con incorporato lo sportello per l'accesso al gancio di traino e due laterali, protetti da fascia di gomma e facilmente smontabili per una facile sostituzione.

### 5.16.5 Ganci di manovra

Anteriormente ad occhiello, in posizione centrale, dotato di dispositivo antirotazione e consente brandeggio di barra di traino fino a +/- 60°; posteriormente è predisposta la sede per il montaggio del gancio ad occhiello, accessibile attraverso sede sul paraurti centrale lato sinistro.

### 5.16.6 Sportelli

Tutti gli sportelli per l'accessibilità agli organi meccanici sono realizzati in lega leggera o in resina poliestere rinforzata con fibra di vetro.

### *5.16.6.a Lato destro veicolo*

Pannello asportabile in lega leggera, fissato con viti, per accessibilità serbatoio combustibile e per manutenzione pescherino e trasmettitore livello carburante. Sportello in lega leggera per il rifornimento olio motore al dispositivo di rabbocco automatico. Sportello su parte posteriore superiore, in lega leggera, per il controllo e ripristino livello liquido raffreddamento motore. Sportello su parte posteriore inferiore, in lega leggera, per l'accessibilità al motore.

### *5.16.6.b Lato sinistro*

Sportello in lega leggera sotto finestrino autista per accesso al rifornimento olio convertitori freni anteriori; sportello in resina poliestere nello sbalzo anteriore per l'accesso al vano batterie, al T.G.C, al deviatore ed alla scatola distribuzione aria al parabrezza; sportello in lega leggera per accesso al riscaldatore ausiliario ad ai rubinetti scarico condensa serbatoi aria. Pannello in lega leggera asportabile con viti per l'accesso al silenziatore di scarico, all'essiccatore, al separatore di condensa. Griglia presa aria radiatore incernierata.

### *5.16.6.c Testata anteriore*

Pannello superiore smontabile per accesso ai perni bracci tergitori; sportello inferiore incernierato per accesso ai comandi freno ed acceleratore, al dispositivo di lubrificazione centralizzata, al rabbocco liquido lavacristallo, al gruppo tergitori.

### *5.16.6.d Testata posteriore*

Sportello motore in lega leggera, coibentato acusticamente, per l'accesso al motore ed al cambio; sportello in resina poliestere su testata posteriore superiore per accesso al vano condensatore per AC autista, alla presa aria motore, al terminale di scarico.

### 5.16.7 Pedane di salita

Possono considerarsi parte del pavimento veicolo mentre i ripari della soglia sono in trafilato d’acciaio a righe longitudinali.

## 5.17 PAVIMENTO

Il pavimento è costituito da pannelli in compensato multistrato da 12 mm, ignifugato e trattato con prodotti idrorepellenti ed anti muffa, anche sui bordi di taglio; apposite strutture metalliche di rinforzo contribuiscono alla resistenza del pavimento, idoneo ad una portata di 700 $kg/m^2$ .

### 5.17.1 Cuffie passaruote

Le cuffie anteriori che conglobano le pedane poggiapiedi per i sedili sistemati sulle stesse, sono realizzate in vetroresina a doppio guscio con interposti pannelli in schiuma poliuretanica per maggiore rigidezza e resistenza; le cuffie posteriori sempre in vetroresina ma più isolate acusticamente; ripari fango supplementari in acciaio inox.

### 5.17.2 Botole di ispezione

Botola di rivestimento interno testata posteriore per l’accesso alla sospensione anteriore motore ed alla turbina; foro, chiuso da tappo, per accesso al fissaggio supporto posteriore motore; botola su alzata pedana autista per accesso fissaggi idroguida; botola sul podio davanti asse posteriore lato destro per accesso pescante carburante; botola sopra asse posteriore per sblocco rotocamere; botola dietro paretina autista per accesso impianti elettrici e ventola sbrinamento parabrezza.

## 5.18 RIVESTIMENTI INTERNI

Il rivestimento interno del padiglione (classificati a bassa propagazione di fiamma) è realizzato con pannelli in materiale plastico di spessore 2 mm traforato; il rivestimento sottocintura delle fiancate è realizzato in resina poliestere incollata alla struttura; i montanti tra i finestrini e a lato delle porte sono rivestiti da elementi di finizione in ABS preformato (rispondente alla direttiva CE 95/28); il rivestimento del pavimento è realizzato in materiale antisdrucciolo e si estende sino ad una altezza di circa 200 mm dal filo del pavimento.

## 5.19 PORTE DI SERVIZIO

Le porte, del tipo a rototraslazione interna sono poste sulla fiancata destra, una sullo sbalzo anteriore e una tra gli assi; le antine sono realizzate in lega leggera di colore nero, con fascia inferiore di finizione in tinta veicolo; il comando è elettropneumatico e avviene dal posto guida tramite due pulsanti per la porta anteriore e centrale, per l'anteriore è previsto un comando dall'esterno abilitabile dal posto guida; un comando di emergenza è installato nei pressi dei comandi di ciascuna porta le cui modalità d'uso è indicata da apposite targhette; le porte inoltre sono dotate di un dispositivo per la riapertura automatica in presenza di ostacolo.

## 5.20 VETRATURA

Tutte le superfici vetrate esterne, ad esclusione del parabrezza sono realizzate in cristallo temperato di sicurezza colore bronzo.

### 5.20.1 Luci anteriori

Il parabrezza è costituito da cristallo stratificato, di forma avvolgente per una migliore visibilità laterale, montato sull'ossatura della testata mediante guarnizione in gomma o in alternativa incollato con adesivi strutturali poliuretanici; al di sopra del parabrezza è montato mediante incollaggio un cristallo di grandi dimensioni per la visibilità del cartello indicatore di linea e destinazione.

### 5.20.2 Luci laterali

I finestrini laterali sono realizzati con parte superiore scorrevole e parte inferiore fissa, intelaiati mediante profili in lega leggera anodizzata, montati sulla struttura a mezzo di controtelaio interno avvitato; in caso di impianto condizionato i cristalli sono fissi e incollati alla struttura; il finestrino del posto guida è composto da una parte fissa inferiore con cristallo sagomato ed esteso verso il basso anteriormente ed incollato alla struttura, una parte superiore fissa con vetro fumè, una parte centrale con vetro posteriore fisso, vetro centrale scorrevole, deflettore nella parte anteriore con comando in basso; sul tegolo laterale destro è ricavato un vano per il cartello indicatore di linea con cristallo incollato.

### 5.20.3 Luci posteriori

Lunotto montato su guarnizione in gomma o in alternativa incollato alla struttura; superiormente è ricavato il vano cartello indicatore di linea visibile attraverso un cristallo incollato.

## 5.21 POSTO GUIDA

L'allestimento conferisce al conducente un posto di lavoro di alto comfort e con notevoli caratteristiche di sicurezza, con particolare cura ergonometrica nella disposizione delle apparecchiature, dei comandi e della visibilità; il posto guida è separato dal vano passeggeri posteriormente da una paretina a tutta altezza, trasparente nella parte centrale e lateralmente da una transennatura con incorporato lo sportello di accesso al posto guida; attraverso l'elettrosbrinatore del parabrezza si ottiene anche il riscaldamento e la ventilazione del posto guida; superiormente è montato un mobiletto che funge da porta plichi, da vano per cassetta pronto soccorso, da vano per rack dispositivi telerilevamento, alloggiamenti per comandi ausiliari; sulla parte alta del parabrezza è installata una tendina a rullo a comando manuale; sul finestrino autista è montata una tendina a rullo a scorrimento verticale; il sedile autista Isringhausen, tipo invernale è dotato di sospensione pneumatica ed è regolabile orizzontalmente e verticalmente così come il cuscino e lo schienale sono regolabili.

### 5.21.1 Specchi retrovisori esterni

Sui montanti della testata sono fissati due specchi retrovisori esterni dotati di resistenza elettrica e telecomando.

## 5.22 SEDILI PASSEGGERI

Monoposto del tipo monoscocca avvolgente in resina plastica, aventi certificata una classe 1 di reazione al fuoco; intelaiatura in tubi di acciaio con protettivo, resistenti alla abrasione ed agli agenti chimici, fissata con viti su supporto montato di sbalzo alla fiancata o fissata direttamente sulle cuffie passaruote; i sedili singoli sono dotati di piantone fissato in alto al

padiglione ed in basso al supporto sedile per consentire una più agevole operazione di pulizia mantenendo il pavimento libero da ostacoli.

## 5.23 MANCORRENTI E PARETINE

Mancorrenti orizzontali e verticali in tubi di acciaio con protettivo resistente all’abrasione ed agli agenti chimici; incastellatura e canalizzazione per cavi completi di guida cavo sui due passaruota lato sinistro ed in corrispondenza della porta centrale per le obliteratrici; a protezione dei posti a sedere in prossimità delle porte sono montate delle paretine con parte inferiore antivandalo e superiore in cristallo.

## 5.24 INDICATORI DI LINEA

La testata anteriore e posteriore e la fiancata destra sono dotatati di vani per l’installazione di cartelli indicatori di linea; tutti i vani sono visibili attraverso cristalli incollati con adesivi poliuretanici e internamente sono protetti da sportelli mobili.

## 5.25 ILLUMINAZIONE INTERNA

Realizzata con plafoniere continue a padiglione realizzate con trafilati in lega leggera e trasparente in resina acrilica montato a scatto, dotate ciascuna di cinque lampade da 36 W e relativi convertitori; l’impianto è realizzato con due circuiti comandati da un unico interruttore su cruscotto; il primo livello di illuminazione attiva la prima, la terza e la quinta lampada a sinistra e la quarta lampada a destra, il comando di emergenza attiva l’illuminazione della prima terza e quinta lampada del lato destro, il secondo livello illumina tutte le lampade; il cablaggio di interconnessione tra le lampade e convertitori è steso all’interno del

profilato delle plafoniere e le connessioni all'impianto veicolo avvengono a mezzo di due connettori situati all'estremità anteriore dei canali luce; l'illuminazione vani porte è realizzata con due plafoniere per vano porta, dotate ciascuna si una lampada alogena da 12 V – 20 W; in corrispondenza della porta centrale è fissato l'indicatore luminoso di fermata prenotata e uscita.

## 5.26 ILLUMINAZIONE ESTERNA

Gli apparecchi di illuminazione e segnalazione esterna sono conformi alle vigenti norme CEE e del Codice della Strada e comprendono :

### 5.26.1 su testata anteriore

due proiettori rettangolari con lampade alogene con le funzioni di proiettore anabbagliante con fascio simmetrico, abbaglianti, luci di posizione, indicatori anteriori di direzione, due luci di ingombro bianche posizionate sugli angoli superiori della testata, due fanali fendinebbia inseriti nel paraurti;

### 5.26.2 su testata posteriore

due indicatori posteriori di direzione a luce arancione, due fanali posteriori di posizione e due di arresto a luce rossa, un fanale retronebbia,un fanale retromarcia, due fanali di illuminazione targa, due luci di ingombro a luce rossa posizionate sugli angoli superiori della testata;

### 5.26.3 sulle fiancate

due indicatori di direzione laterali a luce arancione (cinque per fiancata); side marker a luce arancione.

## 5.27 VARIE

Due tergicristalli elettrici fulcrati nella parte anteriore del parabrezza; dispositivo lavaparabrezza con ugelli sui bracci dei tergitori; nicchia per l'accesso al bocchettone combustibile munito di raccoglitore dotato di scarico a terra; segnalatore acustico di anomalie funzionali in aggiunta a quello ottico; due calzatoie contenute in un vano ricavato sulla cuffia anteriore sinistra dotato di sportello; suoneria a colpo unico con pulsanti di chiamata sui montanti fiancate e sistemata nei cassonetti della porta centrale; ripetitore ottico anomalie funzionali su cruscotto; targhette monitrici regolamentari all'interno ed all'esterno veicolo; predisposizione per radiotelefono con piastra porta antenna e canalizzazione per cavo antenna; triangolo di segnalazione veicolo fermo; scritte e sigle Iveco; manuale uso e manutenzione; estintore a polvere secca da 6 kg; ulteriore estintore; impianto estinzione incendi tipo Pirò; martelletti rompi vetro per uscite di emergenza con cavo d'acciaio e molla di richiamo; aerotermi zona passeggeri; predisposizioni due obliteratrici; impianto di telerilevamento.

## 5.28 CLIMATIZZAZIONE VEICOLO

Il sistema consente la gestione indipendente della climatizzazione del vano autista e del vano passeggeri con due impianti separati ognuno dei quali è composto da compressore, condensatore ed evaporatore propri.

Climatizzazione posto guida a controllo manuale per la climatizzazione del solo vano autista che prevede l'attivazione con opportuni pulsanti

posti in plancia attraverso dei selettori a quattro posizioni la funzione di condizionamento con possibilità di regolazione della velocità di ventilazione, di riscaldamento con regolazione della quantità di aria, di reheating (aria calda deumidificata) per migliorare il confort e per un più efficace sbrinamento, infine l'orientamento del flusso dell'aria e del ricircolo dell'aria; climatizzazione vano passeggeri a controllo automatico che consente l'impostazione della temperatura che si desidera mantenere nell'abitacolo in un range tra i 15 C° e 35 C° grazie a un potenziometro posto sul pannello elettrico nel canale aria, la ventilazione, il reheating per la deumidificazione dell'aria e lo sbrinamento dei vetri, il ricircolo dell'aria.

Nella tabella seguente si riporta un riepilogo del tipo di materiali costituenti gli elementi fondamentali dell'autobus :

**Tabella 54 :** ***Riepilogo materiali costituenti***

| ELEMENTO | MATERIALE |
|---|---|
| Albero motore | Microlegato |
| Alette radiatore | Rame |
| Anelli stantuffi | Cromati |
| Antine porte di servizio | Lega leggera |
| Asse a camme | Acciaio cementato profondo |
| Basamento motore | Ghisa stabilizzata |
| Biella | Acciaio stampato microlegato |
| Bilancieri comando valvole | Ghisa sferoidale |
| Canne cilindri | Ghisa centrifugata e stabilizzata |
| Cartuccia easy – change lubrificazione | Fibra |
| Cinghia alternatore | Poly-v |
| Cinghia pompa acqua | Poly-v |
| Collettore di scarico | Ghisa SIMO |
| Coppa olio | Lamiera sospesa elasticamente su cuscino di gomma |
| Copricorda | Bronzo fosforoso |
| Cuffie anteriori e posteriori passaruote | Vetroresina a doppio guscio con interposti pannelli |

| | in schiuma poliuretanica |
|---|---|
| Girante pompa acqua raffreddamento | Plastica |
| Guarnizione lunotto | Gomma |
| Guarnizione parabrezza | Gomma o incollato con adesivi strutturali poliuretanici |
| Impianto elettrico | Corrugato |
| Incapsulamento al di sotto del vano motore | Pannelli fonoassorbenti e fonoisolanti |
| Ingranaggi distribuzione | Acciaio, cementati, rettificati e rasolappati |
| Intelaiatura sedili passeggeri | Tubi di acciaio con protettivo |
| Isolamento cavi unipolari | PVC |
| Isolamento vano motore | Pannelli di materiale fonoassorbente e termoisolante |
| Mancorrenti | Tubi di acciaio con protettivo |
| Manicotti raffreddamento | Siliconici |
| Montanti tra i finestrini e a lato delle porte | Rivestiti da elementi di finizione in ABS preformato |
| Parabrezza | Cristallo in vetro stratificato |
| Paraurti | Resina poliestere rinforzata con fibre di vetro |
| Pavimento | Multistrato di betulla insonorizzato |
| Pavimento | Pannelli in compensato multistrato, ignifugato, idrorepellente, antimuffa con strutture metalliche di rinforzo, rivestito in materiale antisdrucciolo |
| Pistone | Lega di alluminio ipereutettica |
| Plafoniere illuminazione interna | Lega leggera e trasparente in resina acrilica |
| Portellone motore | Lega leggera |
| Protezione sportello gancio traino | Gomma |
| Ripari della soglia pedane di salita | Trafilato d'acciaio |
| Ripari fango | Acciaio inox |
| Rivestimento del pavimento | materiale antisdrucciolo |
| Rivestimento esterno padiglione | Pannello in lega leggera preverniciato e incollato |
| Rivestimento fiancate | Pannelli compositi in lega leggera |
| Rivestimento interno del padiglione | Pannelli in materiale plastico traforato |
| Rivestimento interno testata posteriore | Composito di materiali isolanti termoacustici e resine poliestere |
| Rivestimento sotto il filo parabrezza | Pannello in resina poliestere |

| | |
|---|---|
| Rivestimento sottocintura delle fiancate | Resina poliestere incollata alla struttura |
| Rivestimento superiore testata anteriore | Resina poliestere |
| Rivestimento testata posteriore | Resina poliestere |
| Sedili passeggeri | Resina plastica |
| Serbatoio aria freni anteriori e posteriori | Lega leggera |
| Serbatoio combustibile | Materiale plastico |
| Sigilli giunzioni lamiere | Prodotti poliuretanici e polisolfurici verniciabili |
| Sportelli<br><br>Lato destro<br>Lato sinistro | Lega leggera o resina poliestere rinforzata con fibra di vetro<br>Lega leggera<br>Lega leggera e resina poliestere |
| Sportello mobile accesso tergitori | Vetroresina |
| Struttura cassa veicolo | Ossatura di tubi in acciaio |
| Struttura telaio e scocca | Acciaio autopassivante |
| Strutture reticolari sopra i finestrini | Lega leggera preverniciata incollati |
| Superfici vetrate esterne | Cristallo temperato di sicurezza |
| Telaio | Profilati in acciaio auto passivante tipo Corten |
| Telaio finestrini laterali | Lega leggera anodizzata |
| Tendina | |
| Testa cilindri | Ghisa stabilizzata con 1,5 % di Nichel |
| Tubazioni circuito pneumatico freni | Poliammide |
| Tubazioni combustibile | Acciaio e poliammide |
| Tubazioni impianto idraulico freni anteriori | Inox |
| Tubazioni impianto idroguida | Acciaio |
| Tubazioni olio freni | Acciaio inox |
| Tubi impianto raffreddamento | Rame |
| Valvole di scarico | Nimonic |
| Vaschette radiatore | Ottone |

# Capitolo 6
# Comportamento al fuoco dei materiali

In questo capitolo si effettua una disamina sul comportamento al fuoco dei diversi materiali combustibili solidi (plastici, compositi polimerici, legno, tessili), liquidi (rifornimenti e lubrificanti) e non combustibili (acciaio, ghisa, alluminio, vetro e isolanti) costituenti l' autobus in esame.

## 6.1 LE MATERIE PLASTICHE

Le materie plastiche o resine sintetiche [85 a 89],{34 a 37} hanno un ruolo così rilevante nello sviluppo ed evoluzione di un incendio che richiedono la rivisitazione del criterio di valutazione del rischio incendio seguito nella redazione delle normative sulla prevenzione incendi. Il comportamento delle materie plastiche costituite essenzialmente da macromolecole aventi identici polimeri di base può diversificarsi notevolmente sia a causa di additivi di varia natura e provenienza in essi incorporati, utilizzati per migliorarne l'aspetto, la qualità e diminuirne i costi, sia in base alle condizioni in cui avviene la combustione. Per cui può accadere che prodotti simili ma realizzati a partire da macromolecole a composizione chimica diversa, abbiano durante gli incendi delle reazioni al fuoco molto differenti e diverse anche da quelle dei prodotti al posto dei quali vengono utilizzate le materie plastiche. Queste presentano delle macromolecole scarsamente resistenti al calore che subiscono facilmente il cracking termico, in maniera analoga a quello degli

idrocarburi pesanti, determinandosi per effetto del calore una disaggregazione delle macromolecole strutturate in polimeri con la formazione di molecole aventi un minor numero di atomi rispetto alle originarie, in uno stato aeriforme viste le temperature in gioco. Queste molecole che sono infiammabili oltreché tossiche possono arrecare danni sia immediati che differiti nel tempo interagendo con altri prodotti nocivi formatisi durante gli incendi aggravandone così gli effetti, come nel caso del polietilene che può dar luogo ad oltre trenta specie di molecole aeriformi. Il processo di degradazione delle materie plastiche per effetto del calore, che inizia poco sopra i 100°C, presenta un andamento diverso a seconda che si tratti di prodotti plastici *termoindurenti* o *termoplastici*. I primi sono contraddistinti dalla proprietà di acquisire resistenza e forma definitiva per effetto del calore e della pressione per cui inizialmente si gonfiano, perdono peso, poi carbonizzano e infine bruciano senza prima subire rammollimento e gocciolamento. I secondi invece fondono per effetto del calore per cui il processo di pirolisi e combustione è accompagnato da gocciolamento che costituisce un pericolo aggiuntivo in caso di incendio potendosi il fuoco propagare a materiali combustibili eventualmente sottostanti. Il processo avviene quindi in diverse fasi ed in tempi più brevi delle sostanze combustibili tradizionali : fra i 100 e 300 °C si ha l'evaporazione dell'acqua incorporata nelle cariche minerali e organiche con susseguente rilascio per pirolisi di sostanze volatili di composizione varia; tra i 300 e 500 °C si la totale demolizione delle macromolecole di base e formazione di differenti e molteplici molecole nello stato di gas e vapore che finiscono per prendere parte attivamente alla combustione generando fiamme vive e multicolore. Infine oltre i 500 °C bruciano i residui carboniosi solidi e la combustione assume un crescendo impressionante con estrema violenza e pericolosità, con notevole produzione di fumi neri, acri, densissimi, con temperature medie

altissime, corrosivi per i materiali e strutture investiti e letali rapidamente per l'essere umano. Questa miscela contiene anche elevate percentuali di vapori e gas ossidabili ulteriormente, che possono riaccendersi venendo a contatto con aria sufficientemente ricca di ossigeno con la possibilità quindi di propagare il fuoco in zone lontane dall'incendio espandendosi attraverso canalizzazioni interne ad esempio di ventilazione o condizionamento o per impianti elettrici. Pertanto la temperatura nell'ambiente in cui ha luogo l'incendio tende a innalzarsi rapidamente raggiungendo valori massimi in un tempo inferiore a quelli riscontrabile nel caso di materiali avente base cellulosica e gli effetti dell'incendio vengono esaltati specie se le materie plastiche sono allo stato espanso o aventi un elevato rapporto fra superficie esposta all'aria e peso come nel caso del poliuretano espanso (imbottiture sedili autoveicoli) per il quale prove sperimentali di incendio, effettuate presso laboratori sia statunitensi che europei, hanno evidenziato che la temperatura media raggiungeva dopo pochi minuti dall'innesco i 1200 °C.

**Tabella 55 :** ***Temperature caratteristiche di alcuni materiali plastici***

| MATERIALE | TEMPERATURA DI RAMMOLLIMENTO | TEMPERATURA DI ACCENSIONE |
|---|---|---|
| PVC | 40 ÷ 120 | |
| Acetato di cellulosa | 60 ÷ 100 | 507 |
| Polietilene | 100 ÷ 120 | 488 |
| Polipropilene | 160 ÷ 170 | 500 |
| Polistirene | 80 ÷ 110 | 570 |
| PMMA | 60 ÷ 120 | 467 |
| Policarbonato | 200 ÷ 240 | |
| PTFE | 300 ÷ 350 | 660 |
| Schiume poliuretaniche | | 400 ÷ 450 |
| Poliisocianato | | 525 |
| Celluloide | 70 ÷ 90 | |

Tra i prodotti della combustione si rinvengono ossido di carbonio (CO), cianogeno ($C_2N_2$), cloro libero (Cl), acido cloridrico (HCl), acido cianidrico (HCN) e altre sostanze come idrogeno, metano, acetilene, benzene, acetone ecc. Per avere un'idea dei possibili effetti deleteri dell' acido cloridrico basti pensare che la combustione di un kg di PVC libera HCl in grado di sciogliere 4 $cm^3$ di acciaio e la combustione di un metro di un cavo elettrico standard isolato in PVC può portare alla distruzione di $2 \div 4$ $m^2$ di circuito stampato di apparecchiature elettriche. Quindi incendi relativamente piccoli coinvolgenti modeste quantità di PVC possono provocare danni del tutto sproporzionati specie se sono presenti materiali porosi negli ambienti come legno, carta, pannelli isolanti e altri materiali che assorbono i vapori di HCl con facilità e li restituiscono successivamente in un arco di tempo molto lungo così che gli effetti della corrosione possono comparire anche dopo settimane dall'incendio. Ciò ad esempio avvenne in una azienda tedesca dove per effetto di un incendio che portò alla distruzione di tubi in cloruro di polivinile nonostante i danni non fossero stati elevati si dovette procedere ad abbattere per effetto della corrosione delle strutture portanti in acciaio che presentavano macchie di ruggine attaccate dal cloro mentre le parti in ottone erano interamente ricoperte di verderame.

Data la continua diffusione delle materie plastiche risulta auspicabile un trattamento di ignifugazione che risulta completamente differente da quello praticabile nei confronti di materiali a composizione cellulosica poiché non risulta possibile incorporare prodotti ignifuganti dopo la formazione dei manufatti, né un rivestimento mediante pitture o vernici ignifughe, vista la scarsa aderenza delle superfici finite. Pertanto il trattamento va fatto all'atto della formazione del prodotto che si vuole rendere resistente al fuoco, immettendo nei componenti di base dei

composti chimici contenenti alogeni, fosforo, antimonio, ferro o opportune loro miscele, composti del bromo o misti di cloro e bromo. Affinché l'ignifugazione sia efficace è necessario che le sostanze ignifuganti si decompongano in un breve intervallo di tempo e a temperature leggermente inferiori a quelle di depolimerizzazione dei materiali plastici cui sono additivate, in quanto non modificando il processo di demolizione termica delle macromolecole delle sostanze plastiche e inibendo solo l'ossidazione a catena dei prodotti di piroscissione devono allora poter diffondere nell'aria insieme a tali prodotti.

### 6.1.1 Il ciclo di combustione dei polimeri

I materiali polimerici organici sintetici e naturali possono iniziare o propagare gli incendi perché, per effetto del calore, essi si decompongono con la formazione di composti volatili combustibili. Il processo di combustione dei polimeri è molto complesso ed è rappresentabile schematicamente come indicato in figura 1.

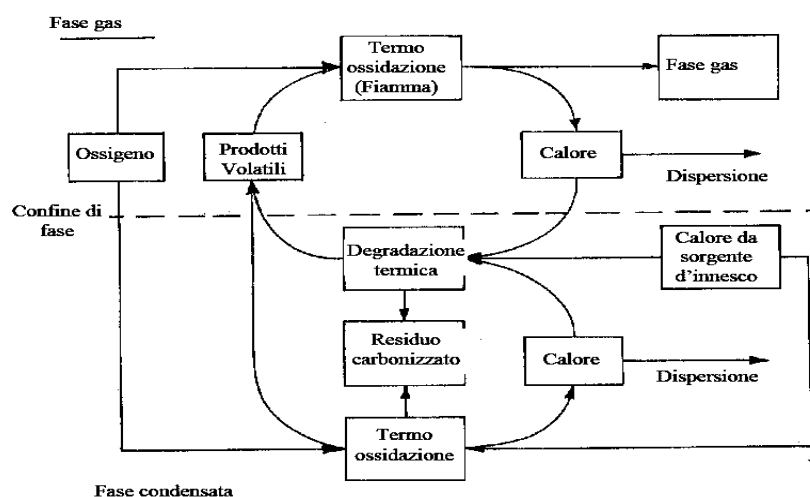



**Figura 70 :** ***Schema del processo di combustione dei polimeri***

La combustione inizia quando i prodotti volatili generati dal calore fornito al polimero dalla sorgente d'innesco, mescolandosi con l'aria, raggiungono, in concentrazione, l'intervallo dei limiti d'infiammabilità e superano, in temperatura, quella d'accensione. La combustione procede poi fino a consumare completamente il materiale se il calore trasmesso dalla fiamma al polimero è sufficiente a mantenere la sua velocità di degradazione termica al disopra del valore minimo richiesto per l'alimentazione della fiamma stessa. In caso contrario, la fiamma si spegne poco dopo l'accensione. Nei casi in cui il calore fornito dalla sorgente d'innesco si esaurisca oppure sia trascurabile rispetto a quello trasmesso al polimero nel ciclo di combustione, questo diventa un processo autoalimentato se i requisiti termici necessari per sostenerlo sono soddisfatti dal calore svolto dalle reazioni di termo -ossidazione che avvengono nella fase gas nella fiamma o nella fase condensata nel materiale. Nonostante lo schema di figura 70 sia di applicazione generale, alcuni degli stadi del ciclo di combustione come la carbonizzazione o la termo-ossidazione in fase condensata possono essere assenti o essere poco rilevanti in dipendenza del tipo di polimero o delle condizioni in cui avviene la combustione. L'infiammabilità dei materiali polimerici ne limita l'applicazione in numerosi settori di impiego in cui il rischio di incendio (probabilità che l'incendio si verifichi) o la sua pericolosità (conseguenze che esso può avere) sono di qualche rilievo quali i trasporti, l'edilizia, il settore elettrico ed elettronico, ecc. Non è possibile preparare un materiale organico completamente non combustibile che conservi le caratteristiche tipiche di facilità di fabbricazione, basso peso specifico e costo contenuto che caratterizzano i materiali polimerici. Utilizzando i cosiddetti **ritardanti di fiamma** è tuttavia possibile diminuire la facilità di innesco e/o la velocità di propagazione della combustione dei polimeri in modo da aumentare l'intervallo di tempo nel quale è possibile

intervenire per estinguere l'incendio, che intercorre tra l'inizio dello stesso e il momento in cui esso diventa generalizzato (flashover). Circa la metà dei materiali polimerici attualmente prodotti deve avere un qualche livello di protezione dal pericolo di incendio. Difatti i ritardanti di fiamma, tra gli additivi per polimeri, sono quelli che rappresentano il valore economico più elevato e sono in costante espansione per il continuo aumento di severità delle norme che regolano l'impiego dei materiali in applicazioni in cui possono verificarsi incendi.

### 6.1.2 Valutazione dell' infiammabilità dei polimeri

Il termine **"infiammabilità"** nel caso dei polimeri non ha un significato scientifico preciso perché non è misurabile mediante un singolo parametro come avviene ad esempio nel caso dei gas in cui si usano a questo scopo i limiti di infiammabilità. Il comportamento dei polimeri alla combustione dipende infatti sia da fattori intrinseci quali la loro composizione chimica, la struttura morfologica, sia da fattori esterni quali forma e dimensioni del manufatto, velocità dell'aria, flusso di calore al quale il materiale è esposto, ecc. Volendo poi prevedere il comportamento di un materiale polimerico in un incendio si trovano ulteriori difficoltà dovute alla intrinseca scarsa riproducibilità tipica dell'incendio. Questi fatti hanno portato ad una notevole attività di messa a punto di metodi per la valutazione dei polimeri in relazione al pericolo di incendio, in cui si misurano più parametri ritenuti rilevanti a questo scopo quali: facilità di accensione, velocità di propagazione della fiamma e di rilascio del calore, formazione di fumi tossici e oscuranti, ecc., in condizioni rigidamente definite con lo scopo di avere almeno una classificazione relativa del comportamento dei materiali. I metodi di prova in larga scala permettono di riprodurre condizioni simili a quelle

degli incendi reali, ma sono costosi e richiedono impianti speciali. Per queste ragioni essi sono di solito usati per provare materiali già selezionati sulla base di prove a scala di laboratorio. Questi sono particolarmente utili per la ricerca e sviluppo di nuovi materiali perché richiedono piccole quantità di prodotti, ma la valutazione viene effettuata in condizioni molto lontane da quelle dell'incendio. Fortunatamente, l'esperienza ha dimostrato che l'evoluzione dei metodi di piccola scala permette di ottenere un ragionevole accordo con i risultati ottenuti con i metodi in scala reale. Questo è particolarmente importante perché le normative sul pericolo di incendio dei materiali polimerici sono forzatamente basate su metodi di laboratorio che sono anche largamente impiegati per definire le loro specifiche tecniche a scopo commerciale. Tra i metodi di prova che danno una valutazione quantitativa del comportamento alla combustione dei polimeri i due più utilizzati per studi di meccanismo sono **l'indice di ossigeno** e il **calorimetro a consumo di ossigeno**. Nell'indice di ossigeno, un campione di materiale a forma di barretta, fissata in posizione verticale all'interno di un condotto cilindrico in vetro, brucia dall'alto verso il basso come una candela, in un flusso ascendente di una miscela di azoto e ossigeno la cui composizione può essere variata. L'indice di ossigeno (**Oxygen Index, OI** o **Limiting Oxygen Index, LOI**) è la concentrazione percentuale minima di ossigeno, in volume, alla quale si ha combustione autoalimentata per 3 minuti in seguito ad accensione della punta del provino con una fiamma libera che viene poi allontanata. In tabella sono riportati i valori di OI per alcuni polimeri.

**Tabella 56 :** ***Valori di Indice di ossigeno (OI)***

| MATERIALE | INDICE DI OSSIGENO |
|---|---|
| Candela da cucina | 16 |
| Poliuretano schiuma | 16,5 |
| Cotone | 16-17 |
| Polistirene | 12,6-18,3 |
| EVA (Ethylene vinyl acetate) | 19 |
| Legno da quercia | 23 |
| Nylon 6 | 25-26 |
| Policloruro di vinile rigido | 45-49 |
| Politetrafluoretilene | 95 |

Un materiale con OI > 21, che è il contenuto di ossigeno dell'aria, anche se innescato non dovrebbe dare combustione autoalimentata. Tuttavia, per prudenza dettata dalle differenze esistenti tra le condizioni della prova e quelle dell'incendio, si attribuisce, a titolo indicativo, la caratteristica di materiale ritardato alla fiamma a materiali con OI > 25. Nella versione del calorimetro a consumo di ossigeno attualmente generalmente utilizzato, il campione sotto forma di una lastrina quadrata è introdotto in un porta campione che è appoggiato sul piatto di una bilancia ed esposto all'irraggiamento di un radiatore a forma di tronco di cono che dà il nome allo strumento (**Cone Calorimeter**). Un arco elettrico fornisce la scintilla per l'accensione dei gas di degradazione che si formano a seguito dell'irraggiamento. La potenza del radiatore può essere variata e arriva fino a 100 $kw/m^2$ che rappresenta il calore generato da un incendio completamente sviluppato. I prodotti di combustione (**fumi**) sono raccolti da una cappa e incanalati in un condotto in cui sono campionati per il dosaggio dell'ossigeno non consumato dalla combustione e dei gas che si sono formati (es. CO, $CO_2$). Un sistema ottico fornisce la misura del potere oscurante dei fumi. Lo strumento permette di ottenere una descrizione esauriente della combustione in funzione del tempo, mediante il calore svolto (calcolato dall'ossigeno consumato), la diminuzione del

peso e l’opacità e la composizione dei fumi. Ai fini delle normative sull’utilizzo dei materiali polimerici e della loro commercializzazione, l’esperienza acquisita dagli incendi verificatisi nel passato ha dimostrato che, oltre alla facilità di accensione e alla velocità di propagazione della fiamma che caratterizzano la cosiddetta *reazione al fuoco*, obiettivo principale dei primi ritardanti di fiamma, la generazione di fumi oscuranti, tossici e corrosivi è altrettanto importante per la sicurezza delle persone e per la salvaguardia delle strutture. Il compito dei ritardanti di fiamma è quello di interrompere il ciclo autoalimentato di combustione riportato nello schema, riducendo la velocità dei processi chimici e/o fisici che hanno luogo in uno o più degli stadi che lo costituiscono. L’effetto ultimo di un ritardante di fiamma, qualunque sia il suo meccanismo di azione, è quello di ridurre la velocità di trasferimento del calore al polimero al disotto del valore minimo richiesto per l’autoalimentazione della combustione. I ritardanti di fiamma possono svolgere il loro ruolo solo quando il calore totale coinvolto nel ciclo di combustione è limitato come nelle fasi iniziali di un incendio. Quando però l’incendio diventa divampante (flashover) la combustione non può più essere interrotta, ma solo confinata. Diversi composti o strutture chimiche possono svolgere il ruolo di ritardanti di fiamma che in passato sono stati individuati essenzialmente su basi empiriche. Le strutture chimiche con proprietà ritardanti di fiamma possono essere introdotte nei materiali polimerici sia in modo permanente mediante modificazione chimica o copolimerizzazione, sia per mezzo di additivi. Il primo approccio presenta alcuni vantaggi quali: la distribuzione uniforme del ritardante nel materiale e la permanenza delle caratteristiche di ritardo alla fiamma per l’eliminazione dei fenomeni di migrazione o estrazione, per esempio nei processi di lavaggio nel caso dei tessuti. Tuttavia, questo approccio è di solito limitato al caso in cui la struttura macromolecolare

venga sintetizzata contestualmente alla fabbricazione del prodotto finale come nel caso dei termoindurenti (resine epossidiche, poliesteri insaturi, poliuretani, ecc.) in cui la formulazione del materiale può essere modificata in modo relativamente semplice per seguire le richieste di gradi diversi di ritardo alla fiamma, dovute anche al continuo aggiornamento delle normative sull'impiego dei materiali polimerici. L'uso di additivi è un approccio più generale perché è molto flessibile e permette di attribuire livelli diversi di ritardo alla fiamma senza modificare il processo di sintesi dei polimeri che sarebbe economicamente troppo gravoso. D'altra parte gli additivi possono dare inconvenienti derivanti da una eventuale bassa compatibilità con il polimero e dalla loro perdita per estrazione o evaporazione. In questa sede verrà discusso esclusivamente l'approccio con additivi perché le conclusioni che si raggiungeranno sono legate alla struttura chimica del sistema ritardante di fiamma e valgono anche quando le strutture in questione sono introdotte nella struttura macromolecolare della matrice. I ritardanti di fiamma oltre ad essere efficienti nel diminuire l'infiammabilità del polimero devono anche essere termicamente stabili alla temperatura di trasformazione del materiale, non interferire negativamente con gli altri additivi del polimero quali ad esempio gli antiossidanti, non essere tossici e non dare fumi corrosivi, tossici o oscuranti nel caso di esposizione all'incendio. In genere si cerca di trovare il miglior compromesso possibile rispetto a tutte queste caratteristiche richieste ai ritardanti di fiamma. Le percentuali di additivo necessarie per ritardare alla fiamma i polimeri sono molto variabili secondo la natura del polimero e la sua applicazione e vanno da poche parti per milione (es. platino nelle gomme siliconiche) al 60% (idrossidi nelle guaine in elastomero di cavi elettrici), con valori medi di 10-30%. Rispetto al loro *meccanismo di azione*, i ritardanti di fiamma possono

essere classificati a seconda che agiscano nella *fase condensata* in cui avviene la degradazione termica del polimero o nella *fase gas* in cui avviene la combustione dei prodotti volatili. Per quanto riguarda invece il tipo di meccanismo, in entrambe le fasi, esso può essere *chimico* o *fisico*. Gli studi effettuati sui meccanismi hanno indicato che molto spesso i ritardanti di fiamma agiscono con una combinazione di diversi meccanismi che dipende dal tipo di polimero in cui sono utilizzati. I ritardanti di fiamma più utilizzati sono tra gli inorganici gli idrossidi di alluminio e magnesio, tra i più efficienti e versatili commercializzati troviamo composti alogenati come clorurati o bromurati alifatici, composti sinergici alogeno metallici aventi però rischi di impatto ambientale, composti fosforati aventi un efficienza minore. Gli inconvenienti legati all'uso di ritardanti di fiamma alogenati hanno motivato un notevole impegno nello studio di sistemi alternativi, capaci di intervenire precocemente sul ciclo di combustione agendo su quella parte del ciclo che avviene in fase condensata, in modo da rallentare e/o interrompere il processo di degradazione del polimero che produce i prodotti volatili. Poiché la degradazione termica del polimero in fase di combustione avviene a una temperatura (300-500°C) inferiore alle reazioni della fiamma (500-1200°C) e quindi a velocità inferiori, è relativamente più facile tentare di rallentare le reazioni in fase condensata che nella fase gas. Questo approccio dovrebbe inoltre ridurre le probabilità di formare prodotti indesiderabili durante l'inibizione delle reazioni che avvengono ad alta temperatura. Tra i sistemi finora sviluppati che presentano un certo interesse sono i sistemi a comportamento intumescente e i nanocompositi polimero-fillosilicato che, in presenza di una fonte di calore, danno luogo alla formazione di un rivestimento termicamente stabile sulla superficie del polimero, che lo isola dalla fiamma o dalla fonte di calore. I sistemi a *comportamento*

*intumescente* formano per riscaldamento una fase carbonizzata espansa a struttura multicellulare, termicamente stabile che isola il materiale sottostante dall'azione della fiamma. Questo approccio al ritardo alla fiamma è utilizzato da circa cinquant'anni nei rivestimenti usati per proteggere strutture in metallo o in legno dall'azione del fuoco. Dalla fine degli anni settanta ha iniziato a svilupparsi anche l'uso di additivi che, sotto l'effetto del calore, promuovono il comportamento intumescente sulla superficie del polimero in fase di combustione. Lo strato di carbone rigonfiato così creato, agisce essenzialmente da barriera fisica al trasferimento di calore e di massa. Così il trasferimento del calore di combustione dalla fiamma al polimero e la diffusione dell'ossigeno verso il materiale e dei prodotti volatili verso la fiamma sono rallentati e si possono raggiungere le condizioni per interrompere il ciclo di autoalimentazione della combustione. Questo meccanismo di ritardo alla fiamma in fase condensata limita la formazione di prodotti volatili minimizzando gli effetti secondari negativi tipici dei sistemi alogenati, quali la formazione di fumi oscuranti, corrosivi e tossici. Inoltre, la fase carbonizzata che aderisce alla superficie del materiale che brucia, impedisce il gocciolamento di particelle di polimero incendiate che possono contribuire alla propagazione dell'incendio. Per avere il comportamento intumescente, le formulazioni dovevano contenere un composto capace di fornire la fase carbonizzata (**carbonifico**) e un agente di rigonfiamento per conferirle la struttura cellulare (**spumifico**). Per avere queste funzioni, si stabilì che sono necessarie tre classi di composti chimici:

- ✓ un acido inorganico sia libero sia ottenuto *in situ* per decomposizione termica di un opportuno precursore;
- ✓ un composto organico poliossidrilato, ricco in carbonio;
- ✓ un composto organico azotato quali amina o amide.

I recenti successi ottenuti nella distribuzione nanoscopica di materiali inorganici nei polimeri dovrebbero portare una profonda innovazione dei materiali polimerici caricati. In particolare, è stato trovato che i nanocompositi lamellari ottenuti disperdendo 2-5% di fillosilicati quali la montmorillonite o la ectorite rese organofiliche, nelle matrici polimeriche, hanno una velocità di combustione molto più bassa di quella che si ottiene con i ritardanti di fiamma tradizionali, nella configurazione di combustione (modello di fuoco) del calorimetro a consumo di ossigeno detto “calorimetro a cono”. Il livello di ritardo alla fiamma richiesto ai materiali polimerici continuerà a crescere in futuro sia perché aumenta il livello di sicurezza e affidabilità richiesto ai materiali sia perché gli sviluppi tecnologici avanzati affidano ai polimeri dei ruoli sempre più strategici, come ad esempio nella costruzione e arredamento di un aereo da 800 passeggeri per il trasporto civile. Contemporaneamente aumenta la richiesta di minimizzare l’impatto ambientale dei materiali in tutto il loro ciclo di vita, che impone di rivedere il settore dei ritardanti di fiamma commerciali sviluppati su basi essenzialmente empiriche, i quali hanno vissuto una serie singolarmente sfortunata di incidenti di percorso di natura ambientale durante il loro utilizzo. Il contributo degli studi di meccanismo dell’azione di ritardo alla fiamma giocherà quindi in futuro un ruolo sempre più importante nell’assistere lo sviluppo empirico di nuovi sistemi più affidabili e compatibili con il cosiddetto “sviluppo sostenibile”.

### 6.1.3 La combustione dei pneumatici.

I pneumatici sono materiali polimerici (il 45% del loro peso è costituito da elastomeri) con una struttura relativamente complessa [90]. L’elevata concentrazione di sostanza organica ridotta rende i pneumatici un

substrato ossidabile nonché suscettibile di combustione. Il potere calorifero legato alla loro combustione è relativamente elevato (circa 8500 kcal/kg), in pratica 1 kg di pneumatici sviluppa la stessa quantità di calore di circa 0,7 kg di olio combustibile. Le emissioni di prodotti tossici e mutageni in caso di combustione incontrollata diventano un problema drammatico infatti da indagini di laboratorio, nei fumi della combustione dei pneumatici, sono stati isolati più di 100 prodotti organici tra cui idrocarburi leggeri (metano, acetilene, etilene), composti monocromatici (benzene, toluene, xilene), idrocarburi policiclici aromatici (naftalene, pirene, fenantrene), composti parzialmente ossigenati (naftolo, dibenzofurano, diossine) ed altri composti eterociclici. Come se non bastasse la discreta presenza di zolfo (mediamente 1,5%) e di azoto (mediamente 0,4%) nei pneumatici è responsabile della produzione degli ossidi nocivi quali SOx (ossidi di zolfo) ed NOx (ossidi di azoto). L'esposizione a fumi così carichi di prodotti dannosi può rappresentare rilevanti rischi sia acuti sia cronici per la salute dell'uomo. In particolare, i rischi dipendono dal tempo e dal grado di esposizione, e mediamente gli effetti sono: irritazioni alla pelle, agli occhi e alle mucose, danni al sistema nervoso centrale ed al sistema respiratorio, cancro. Si stima che le emissioni da combustione incontrollata di pneumatici siano 13.000 volte più mutagene delle emissioni della combustione del carbone. Tuttavia è intuitivo pensare che la concentrazione di gas emessi dipenda, oltre che dalla composizione del pneumatico, anche dalle condizioni di temperatura e dalla quantità di aria disponibile per la combustione. Quest'ultimo parametro, in genere, è indicato dal rapporto tra la massa di aria disponibile e quella stechiometricamente necessaria alla combustione completa di tutto il materiale presente $\lambda$ ($\lambda =$ V disponibile/ V stechiometrico). Tale rapporto è indicato con il termine inglese "bulk air ratio" e si rivela di fondamentale importanza nel controllo dei processi di

combustione in genere ed è un indice della quantità di ossigeno presente nel processo: valori di $\lambda > 1$ rappresentano combustioni che procedono in eccesso di ossigeno mentre per $\lambda = 0$ il processo attivo è la pirolisi (decomposizione in assenza di ossigeno, indotta dal calore). L'effetto di $\lambda$ sulle emissioni di monossido di carbonio (CO) e di diossido di carbonio ($CO_2$) è quello tipico per le combustioni di materiale organico in genere. In particolare, la quantità relativa di diossido di carbonio emessa aumenta progressivamente all'aumentare della quantità di aria presente mentre per il monossido di carbonio si ha un massimo di emissione per $\lambda = 0,5$ (cioè per una quantità d'aria pari alla metà di quella stechiometrica richiesta per la combustione completa). Per valori di $\lambda > 1$ non sono riscontrabili concentrazioni apprezzabili di monossido di carbonio. Più complessa e variegata è l'emissione dei composti organici volatili, i quali sono classificabili in tre distinte categorie rispetto alle concentrazioni rivelate al variare dell'apporto di aria e a temperatura costante pari a 850°C :

- ✓ Composti la cui emissione si riduce con l'aumento di $\lambda$ , fanno parte di questa categoria gli idrocarburi policiclici aromatici, che risultano praticamente assenti a $\lambda > 1,25$;
- ✓ Composti che mostrano un massimo di emissione intorno a $\lambda = 0,5$ per poi essere praticamente assenti quando la quantità di aria supera quella stechiometrica, si inseriscono in quest'ambito composti parzialmente ossidati come alcoli, furani, acidi organici;
- ✓ Composti che incrementano in concentrazione se la quantità di aria disponibile è più elevata, tipici esempi sono gli idrocarburi alifatici e le amidi.

In riferimento all'effetto della temperatura sui prodotti emessi durante la combustione dei pneumatici, sono individuabili due classi distinte di composti:

- ✓ **Idrocarburi monoaromatici e composti parzialmente ossidati :** la cui concentrazione decresce all'aumentare della temperatura e risultano praticamente assenti per temperature superiori a 1000°C;
- ✓ **Idrocarburi policiclici aromatici :** per i quali le concentrazioni emesse presentano un massimo intorno a 850°C.

Studi recenti sul comportamento dei pneumatici al riscaldamento ad alte temperature mostrano che la temperatura, a cui si innescano processi pirolitici, è pari a circa 300°C e che la combustione con consumo di ossigeno può aversi solo a temperature maggiori di 480°C. Infine, in aggiunta ai rischi legati alla tossicità delle emissioni bisogna aggiungere circa il controllo e l'estinzione della combustione dei pneumatici che la particolarità della forma dei pneumatici rende estremamente complicato il raggiungimento di tutta la superficie in combustione da parte degli estinguenti e permette all'aria di intrappolarsi e quindi di continuare ad alimentare la combustione. L'elevato potere calorifero è un ulteriore elemento di difficoltà. Come in ogni caso il rimedio più efficace è certamente "la prevenzione", tuttavia, nei casi in cui l'incendio è in atto, le linee guida per questo genere di incendi consistono nell'immediato isolamento del materiale in fiamme e la sua estinzione mediante immersione in acqua. In alternativa, si può utilizzare acqua nebulizzata, nel caso in cui non fosse disponibile una riserva d'acqua utile per l'immersione dei pneumatici. L'uso di un flusso di acqua diretto si è rivelato meno efficace. In molti casi il controllo dell'incendio è stato eseguito soffocando la combustione con materiale di riempimento (sabbia per esempio), tuttavia in questi casi è possibile avere fumi altamente nocivi e duraturi che necessitano una sorveglianza continua ed un monitoraggio dei gas emessi per alcune settimane. La tossicità di questi fumi è legata alla presenza di elevate concentrazioni di idrocarburi policiclici aromatici (prodotti cancerogeni), le cui emissioni

incrementano quando la quantità di aria disponibile è scarsa (valori di $\lambda < 1$), come mostrato in precedenza.

### 6.1.4 Comportamento al fuoco dei materiali e delle apparecchiature elettriche

Gli impianti elettrici costituiscono un componente da tenere ben presente nell'analisi del rischio incendio indipendentemente dalle problematiche legate alla tensione a cui operano e all'energia elettrica che li percorre, in quanto spesso molti dei materiali utilizzati come isolanti per i conduttori e componenti elettrici sono combustibili per cui sono in grado di sostenere e propagare un incendio con facilità in determinate condizioni [24],[91 e 92]. E' questo ad esempio il caso dei fili elettrici di vecchio tipo in cui le guaine isolanti erano costituite da un involucro interno di gomma e da una calza esterna di tessuto di cotone che bruciano con fiamma con velocità tanto maggiore quanto maggiore è l'usura della gomma, oppure di guaine o tubi impregnati di catrame esternamente protetti a volte da lamierino graffato. In alcuni casi, come nel caso di trasformatori, si utilizzano isolanti di tipo liquido (oli minerali), specialmente se la quantità di calore da smaltire è elevata, che bruciano facilmente se portati a temperatura di accensione, apportando un notevole carico di incendio. Gli stessi avvolgimenti dei motori elettrici o dei trasformatori solitamente isolati mediante resine e vernici costituiscono un consistente carico di incendio in quanto tendono a decomporsi per effetto del calore in sostanze volatili infiammabili costituenti miscele esplosive con l'aria. Per cui risulta necessario, affinché il fuoco non si propaghi nelle canalizzazioni con relativa facilità, che gli isolanti dei conduttori elettrici siano di tipo autoestinguente ed evitare conduttori raccolti in matassa perché a quelli più interni verrebbe impedito di

smaltire il calore che si sviluppa durante il passaggio di corrente cosicché il surriscaldamento di uno solo di essi favorirebbe condizioni di demolizione termica degli isolanti e formazione in cavità di miscele aeriformi esplosive suscettibili di inneschi. Risulta quindi utile diaframmare i fori di passaggio dei cavi elettrici in ingresso e uscita opportunamente in modo che un eventuale fuoco non propaghi esternamente e diffonda facilmente ad ambienti adiacenti.

## 6.2 COMPORTAMENTO AL FUOCO ACCIAIO

Le proprietà meccaniche e termiche degli acciai [20],[36],[93 a 98] dipendono dalla loro composizione, dal modo in cui sono stati ottenuti e dai trattamenti cui sono stati sottoposti, almeno fino a 300 °C e con riscaldamenti moderati. Sottoponendo al riscaldamento un acciaio dolce e uno al cromo ad esempio, si è notato che i coefficienti di dilatazione sono praticamente gli stessi ma sono molto diversi i rispettivi limiti di resistenza a rottura che segue infatti un andamento non lineare con il crescere della temperatura. Per entrambi la resistenza di rottura cresce fino alla temperatura di 300 °C ma rimane inalterata la differenza sensibile di carico di rottura esistente fra i due tipi di acciaio; a partire dai 350 °C la resistenza a rottura di entrambi diminuisce bruscamente e a temperature maggiori di 500 ÷ 550 °C i carichi di rottura divengono inferiori a quelli consentiti dai coefficienti di sicurezza da rispettare e ciò può determinare il cedimento in presenza di incendi localizzati anche se la temperatura pericolosa interessa limitate porzioni degli elementi costruttivi sotto carico. Oltre i 200 °C non si produce il fenomeno di snervamento e la curva delle tensioni presenta un andamento di ascesa graduale e continua riproducendo il diagramma caratteristico dei materiali duttili. Tuttavia sia il limite di elasticità che il modulo di elasticità E

diminuiscono invece progressivamente con l'aumentare della temperatura; se si porta a rottura una barra di acciaio sottoponendola a sforzi permanenti anziché brevissimi, si constata che sotto l'effetto di tensioni molto moderate l'acciaio si allunga indefinitamente per temperature relativamente basse dando luogo a un fenomeno detto di scorrimento. Si noti che una struttura in acciaio esposta nuda all'incendio raggiunge il collasso in 10 ÷ 20 minuti non solo per la diminuzione della resistenza meccanica ma anche per effetto delle spinte sulle strutture di appoggio che nascono a causa delle dilatazioni termiche; risulta pertanto necessario proteggere le strutture portanti da un rapido riscaldamento attraverso opportuni accorgimenti che impediscano il superamento dei 500 °C durante tutta la durata dell' incendio.

Nella tabella successiva si evince che tra i 200 e 300 °C di ha la massima resistenza alla rottura, a 500 °C si è già avuto un grave indebolimento con resistenza ridotta di 2/3 e a 600 °C avviene il cedimento.

**Tabella 57 : *Carichi di rottura, di proporzionalità, di snervamento e relative variazioni per un acciaio dolce.***

| T | $\sigma_r$ | $\Delta(\sigma_r)$ | $\sigma_p$ | $\Delta(\sigma_p)$ | $\sigma_s$ | $\Delta(\sigma_s)$ | E = σ/ε | Δ(E) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (°C) | $(\frac{kg}{mm^2})$ | | $(\frac{kg}{mm^2})$ | | $(\frac{kg}{mm^2})$ | | ( tonn. / $mm^2$ ) | |
| 20 | 40 | 1 | 25 | 1 | 28 | 1 | 20,8 | 1 |
| 100 | 42 | 1,05 | 29 | 1,16 | 33 | 1,18 | 20,1 | 0,97 |
| 200 | 52 | 1,3o | 21 | 0,84 | 35 | 1,25 | 19,7 | 0,95 |
| 300 | 49 | 1,22 | 13,5 | 0,54 | 24 | 0,86 | 18,5 | 0,89 |
| 400 | 38 | 0,95 | 10 | 0,40 | - | - | 17,8 | 0,86 |
| 500 | 27 | 0,68 | 8 | 0,32 | - | - | 15,1 | 0,72 |
| 600 | 16 | 0,40 | 4 | 0,16 | - | - | 13,4 | 0,64 |
| 700 | 8 | 0,20 | - | - | - | - | - | - |

Un fattore che influenza la resistenza delle strutture è il tempo occorrente per portarle alla temperatura limite, il quale a sua volta è legato a

molteplici parametri come la massa del metallo da riscaldare e la superficie direttamente investita dal flusso di calore generato dal fuoco, risultando direttamente proporzionale al peso del profilato da scaldare e inversamente proporzionale alla superficie da esso esposta al calore. Ed infatti un profilato tubolare si riscalda meno velocemente di un profilato a doppio T di pari peso poiché questo ha una superficie maggiore. Altro parametro che influenza il riscaldamento dell'acciaio è la conducibilità termica che a temperatura ordinaria è abbastanza elevata (circa $9{,}7 \cdot 10^{-2}$ watt /cm / °C), che consente una rapida diffusione del calore nelle parti non soggette a riscaldamento diretto e un rapido ristabilimento dell'equilibrio delle temperature per cui occorre una protezione completa delle parti metalliche per evitare che un difetto locale consenta un innalzamento di temperatura in tutto il metallo e conseguente danneggiamento di tutta la struttura. Inoltre potrebbe accadere per effetto della trasmissione del calore da parte di strutture metalliche surriscaldate che si inneschino incendi anche a distanza per la presenza di materiali combustibili posti a contatto. La gravità degli incendi dipende inoltre sia dal grado di ventilazione dell'ambiente in cui insorge e infatti un minor grado di ventilazione comporta temperature più alte nell'acciaio per effetto della maggior durata dell'incendio e quindi del tempo di riscaldamento, sia dal carico di incendio che se concentrato produce sulla superficie soprastante temperature più alte di quelle riscontrate con carico uniformemente distribuito e quindi maggiori sollecitazioni termiche. Inoltre la temperatura di cedimento dell' acciaio dipende dalla sollecitazione cui è sottoposto, se infatti diminuisce la sollecitazione massima aumenta la temperatura critica di collasso.

Nella costruzione di un autobus, la lamiera di acciaio inossidabile sta assumendo un ruolo sempre più determinante sia per la struttura portante, sia per le parti di rivestimento (specie nella zona di sottocintura), sia per

gli accessori interni ed esterni. I più utilizzati sono quelli della serie austenitica AISI 304, AISI 304 L e per gli accessori AISI 430 che consentono di realizzare strutture con diminuzione degli spessori dei tubolari e conseguente alleggerimento con notevoli vantaggi di peso ed economici rispetto ai tradizionali acciai al carbonio, garantendo così un risparmio di carburante e una minore sollecitazione di tutti gli organi meccanici; inoltre consentono assenza di fenomeni corrosivi nelle normali condizioni di esercizio, maggiore resistenza della struttura, maggiore spazio interno utilizzabile, manutenzione nel tempo praticamente nulla. A differenza dell'acciaio al carbonio che presenta una resistenza al fuoco piuttosto modesta cui si ovvia con rivestimenti di materiali coibenti come le vernici intumescenti, l'acciaio inossidabile ha una notevole capacità di resistenza al fuoco per cui è indicato per i sistemi di protezione antifuoco, a protezione di canalizzazioni e cavi elettrici nonché negli elementi portanti e non necessitando di protezione da vernici intumescenti, limita in caso di incendio la produzione di fumi. Prove sperimentali eseguite presso i laboratori dei Vigili del Fuoco di Roma, in sintonia con modellazioni agli elementi finiti mostrano i vantaggi in termini di aumento dei tempi di resistenza al fuoco dai 10 ÷ 15 minuti di un acciaio tradizionale ai 20 ÷ 30 minuti in un intervallo di temperature da 650 a 800 °C che è considerato quello più critico per le strutture metalliche sottoposte a carico di incendio. Viene quindi teoricamente quasi raddoppiato il tempo a disposizione per poter intervenire in caso di incendio ed operare in condizioni di sicurezza sulla struttura. Sull'autobus in esame è usato in particolar modo un acciaio CORTEN – TEN A Anticorrosione, con la seguente composizione chimica di colata in percentuale :

**Tabella 58 :** ***Composizione chimica di colata acciaio COR-TEN A***

| C max | Mn | Si | P | S max | Ni max | Cr | Cu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,12 | 0,2÷0,5 | 0,25÷0,75 | 0,07÷0,15 | 0,035 | 0,65 | 0,30÷1,25 | 0,25÷0,55 |

Comunemente è denominato acciaio al fosforo che, oltre a conferirgli un elevata resistenza meccanica, consente una resistenza all'attacco degli agenti chimici da cinque a otto volte superiore a quello di un comune acciaio al carbonio grazie alla presenza di uno strato superficiale autoprotettivo di ossido sul metallo base, formatosi attraverso un processo che inizia con l'esposizione all' aria e si conclude dopo 3 o 4 settimane con la presenza di una patina arrugginita autoprotettiva che non si modifica nel tempo cosi da poter utilizzare questi prodotti allo stadio nudo, oppure se pitturati di ridurre le operazioni di manutenzione. Nonostante l'altissima resistenza strutturale con un modulo di elasticità 3 volte superiore a quello dell'alluminio, una conduttività termica inferiore a 4 volte quella dell'alluminio, un ridotto coefficiente di dilatazione 2 volte inferiore a quello dell'alluminio, una resistenza alla corrosione 10 volte superiore a quella degli acciai normali, il comportamento al fuoco però sembra essere lo stesso. Un procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in acciaio è contenuta nella norme UNI 9503(procedimento analitico) e EN 1993-1-2:2005 e UNI 7678 (metodo sperimentale).

## 6.4 ALTRI METALLI

I metalli rappresentano, nel loro comportamento, il caso tipico di materiali incombustibili, ma non resistenti al fuoco [25],[36],{38}. Le strutture in ferro non protette, esposte al fuoco, presentano due inconvenienti gravissimi : la grande dilatabilità e la forte diminuzione di resistenza col riscaldamento. La prima può provocare il forzamento di

strutture adiacenti determinando il collasso prima ancora che la temperatura sia sufficientemente elevata da provocare l'accensione generale dei materiali combustibili presenti; la seconda può causare un cedimento delle strutture che non riescono a reggere se stesse, in conseguenza di un elevamento relativamente non grande della temperatura ( 700 ÷ 800 °C ) che, corrispondendo solo ad una debole incandescenza del ferro non rilevabile in mezzo al fuoco e al fumo, esporrebbe a gravi pericoli.

La **ghisa**, materiale duro ma fragile, per quanto più resistente del ferro al calore, non è anch'essa resistente al fuoco ed inoltre sotto l'azione di brusche variazioni di temperatura (ad esempio per effetto di getti d'acqua) si crepa facilmente con conseguente rotture della struttura

**Tabella 59 :** ***Variazione della resistenza con la temperatura per la ghisa (resistenza a trazione $\sigma$ =20 kg/mm$^2$ )***

| Temperatura (°C) | 300 | 400 | 500 | 570 |
|---|---|---|---|---|
| Resistenza a trazione $\sigma_r$ | 19,8 | 18,4 | 15,2 | 10,4 |
| Confronto con la $\sigma_r$ a 200 °C | 0,99 | 0,92 | 0,76 | 0,52 |

**Tabella 60 : V*ariazione della resistenza con la temperatura per l'alluminio ( $\sigma$ =10 kg/mm$^2$ )***

| Temperatura (°C) | 20 | 75 | 135 | 310 | 403 | 510 | 600 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Resistenza a trazione $\sigma_r$ | 11,6 | 10 | 7,65 | 2,6 | 1,25 | 0,55 | 0,35 |
| Confronto con la $\sigma_r$ a 20 °C | 1 | 0,86 | 0,66 | 0,22 | 0,1 | 0,05 | 0,03 |

**Tabella 61 :** ***Variazione con la temperatura per il rame (resistenza a trazione $\sigma$ =25 kg/mm$^2$ )***

| Temperatura (°C) | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 285 | 367 | 451 | 556 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Resistenza a trazione $\sigma_r$ | 24,5 | 23,7 | 22,7 | 21,2 | 19,7 | 18,7 | 16,5 | 12,7 | 8,3 |
| Confr. con la $\sigma_r$ a 10 °C | 0,98 | 0,95 | 0,91 | 0,85 | 0,79 | 0,755 | 0,66 | 0,51 | 0,33 |

**Tabella 62 : V*ariazione della resistenza con la temperatura per il bronzo ($\sigma$ =24 kg/mm$^2$ )***

| Temperatura (°C) | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
|---|---|---|---|---|---|
| Resistenza a trazione $\sigma_r$ | 24,2 | 22,6 | 13,7 | 6,2 | 4,3 |
| Confronto con la $\sigma_r$ a 20 °C | 1,01 | 0,94 | 0,57 | 0,26 | 0,18 |

Nell'industria automobilistica, l'esigenza di contenere i consumi e migliorare l'efficienza dei veicoli ha condotto verso l'utilizzo di materiali leggeri, specialmente nell'ambito dei trasporti pubblici; un telaio leggero, riducendo la massa in movimento, consente di contenere le dimensioni degli organi di trasmissione, delle sospensioni, nonché del motore stesso. Inoltre, il mercato obbliga oggi a sforzi sempre maggiori per estendere il ciclo di vita del mezzo il più possibile, migliorandone l'affidabilità in servizio. Per quanto concerne la riduzione di peso, una soluzione può essere cercata nei materiali come l'alluminio e i materiali compositi; un telaio in alluminio, per esempio, consente di ridurre il peso del mezzo del 20%.

L' **alluminio** [36], [99 e 100],{28} non brucia e fonde quando raggiunge la temperatura di 660 °C. La sua conducibilità termica è all'incirca quattro volte maggiore e il suo calore specifico due volte maggiore della conducibilità termica e del calore specifico dell'acciaio; ciò significa che il calore si disperde più rapidamente e che, di conseguenza, ci vuole una maggiore quantità di calore per portare una massa di alluminio a una data temperatura rispetto a quello che è richiesto da una uguale massa di acciaio. Senza entrare nel merito delle varie normative nazionali riguardanti la sicurezza antincendio, è lecito affermare che l'alluminio è in grado di rispondere all'istanza di sicurezza; infatti non brucia, è classificato fra i materiali incombustibili e non sviluppa gas o vapori tossici. La temperatura di fusione delle leghe di alluminio è circa di 660 °C, valore che si raggiunge quando l'incendio è pienamente sviluppato.

Questa temperatura di fusione è ben più elevata di quella di collasso di altri materiali lignei. Quando una struttura in alluminio viene sottoposta al calore di un incendio, la relativamente alta conducibilità termica del materiale permette al calore di trasferirsi più rapidamente dalla zona interessata. Questo è un espediente per cercare di ridurre al massimo le temperature nelle zone maggiormente sollecitate delle strutture, espediente che aumenta la durata delle strutture stesse e di conseguenza, i tempi di evacuazione. Inoltre, in caso di incendio grave, la fusione delle lastre sottili di alluminio utilizzate nelle coperture e nei rivestimenti è un parametro da tenere in considerazione in fase di progettazione; infatti questa fusione trascina i pannelli di rivestimento ed "apre" la struttura permettendo la dispersione del calore intenso e dei fumi, cosa che facilita lo spegnimento del fuoco e, per un periodo limitato, protegge la struttura. Poichè facciate continue di alluminio non possono fornire un grado elevato di resistenza al fuoco per raggiungere un certo livello di tale prestazione si possono impiegare le seguenti soluzioni: inserire un'anima in acciaio all'interno dei profilati; usare materiali (vernici, guarnizioni e staffe) resistenti al calore; utilizzare setti taglia - fuoco che limitino il passaggio del fuoco tra gli elementi.

Le **leghe di alluminio** evidenziano un comportamento simile a quello dell'acciaio per quanto concerne la propagazione del calore all'interno della massa, pertanto i problemi connessi con la resistenza strutturale all'incendio sono del medesimo tipo. Da notare però che queste posseggono un comportamento elastico non lineare per cui non è possibile definire una tensione di snervamento come per gli acciai e il parametro utilizzato è quindi la tensione in corrispondenza della deformazione residua pari allo 0,2 %. Le caratteristiche meccaniche del materiale sono definite nell'intervallo di temperatura compreso tra 20 e 500 °C, oltre questo valore non si considera più alcuna resistenza residua.

Queste strutture possono essere isolate mediante materiali di protezione contro il fuoco, protette mediante schermature al calore o con altri metodi che limitano l'incremento della temperatura dell'elemento. Le caratteristiche dell'alluminio in condizioni di incendio sono fornite dall' EC 9 parte 1-2 e dalle istruzioni CNR.

## 6.5 LEGNO

Si crede ancora diffusamente, anche da parte di tecnici responsabili della sicurezza delle costruzioni, che le strutture di legno, essendo questo un materiale combustibile, siano particolarmente soggette al rischio di incendio, e che inoltre in caso di incendio si trasformino quasi istantaneamente in trappole mortali per i loro occupanti. Entrambe le preoccupazioni sono infondate [20]. La prima, in quanto statisticamente è provato che l'innesco e la propagazione dell'incendio è causato da materiali molto più infiammabili del legno quali tessuti sintetici, imbottiture, carta, materiali plastici, combustibili liquidi, gas infiammabili e che quindi raramente le strutture in legno contribuiscono ad alimentare l'incendio ma anzi ne subiscono più spesso le conseguenze. La seconda, perché in effetti il rischio maggiore è quello di rimanere avvelenati e disorientati dai fumi tossici e opachi emessi dagli stessi materiali sintetici sopra citati [101 a 105].

Il legno è un materiale organico di origine vegetale contenente in media : 50% di carbonio, 42% di ossigeno, 6% di idrogeno, 0,2% di azoto, e piccole percentuali di ceneri e altre sostanze quali resine , tannino, gomme, e grassi.

La combustione e degradazione termica del legno avvengono con modalità diverse a seconda della quantità di ossigeno (comburente) e quindi di aria disponibile: in carenza di aria si parla di '*carbonizzazione*'

o ‘*pirolisi*’ con assenza di combustione (o combustione lenta), mentre con aria abbondante si parla di ‘*combustione rapida’*. Somministrando calore al legno se ne innalza la temperatura e conseguentemente ne risulta la perdita di acqua costituente l’umidità del legno. In una prima fase la temperatura si mantiene inferiore a 70 °C poi solo quando l’acqua è stata eliminata in gran parte, la temperatura si eleva oltre i 100 °C e contemporaneamente si determina un miglioramento delle caratteristiche di resistenza meccanica. Durante questa fase che dura fino ai 200 °C si ha un inizio di distillazione che comporta l ’ imbrunimento dei tessuti e formazione di vapor d’acqua, anidride carbonica e altri gas tra cui l’ ossido di carbonio (combustibile). Successivamente fino ad una temperatura compresa tra i 240 e i 280 °C, nello strato esterno si ha la distillazione dei prodotti condensabili aventi una frazione acquosa come acidi grassi e alcool metilico con emissione di gas come anidride carbonica e ossido di carbonio. Oltre i 280 °C (la reazione passa da endotermica a esotermica) il processo progredisce verso l’interno, con superficie che si scurisce ulteriormente e si entra in una terza fase con un rapido innalzamento della temperatura che raggiunge i 450 °C con emissione di gas e vapori combustibili (fumi visibili) tipo ossido di carbonio, metano, formaldeide, acido acetico e formico, metanolo, idrogeno in gran parte diluiti da vapore d’acqua e anidride carbonica. Intorno ai 500 °C il processo di carbonizzazione è ultimato e ne risulta un residuo nero e friabile che costituisce il carbone di legna. La propagazione del calore nel legno avviene molto lentamente sia per la bassa conducibilità del legno sia a causa della formazione dello strato di carbone di legna che impedisce lo sviluppo e il progredire della fiamma, ostacolando l’ossigeno nel raggiungimento degli strati sottostanti di legno incombusto. Nel caso di combustione rapida, corrispondente al fenomeno reale comunemente inteso, in una prima fase che dura fino a circa 200 °C,

le modalità di combustione non differiscono dalla precedente : perdita di umidità fino a temperature di poco superiore a 100 °C. perdita di acqua di costituzione, imbrunimento dei tessuti, carbonizzazione, progressiva perdita di peso per sviluppo dei gas (contenuto tra il 15% e il 25%), con miglioramento delle caratteristiche meccaniche (inversamente proporzionali al contenuto di umidità). Il riscaldamento in aria libera determina sia una perdita di peso molto più elevata (da 3 a 4 volte), rispetto al riscaldamento sotto vuoto per la presenza dell'ossigeno dell'aria che esercita un' azione ossidante favorendo la degradazione dei componenti del legno, sia una variazione della temperatura di accensione spontanea che è influenzata anche dalle dimensioni (infatti operando con provette più piccole si abbassa il punto di accensione). La fase esotermica della combustione in questo caso inizia tra i 135 e 260 °C (anziché tra i 260 e 280 °C), a seconda della specie legnosa e della concentrazione di ossigeno. Tra i 300 e 400 °C inizia la combustione viva con presenza di fiamma e formazione di brace. In realtà l'emissione dei gas può impedire l'accesso dell'ossigeno dell'aria alla superficie del legno e il carbone formatosi funge da scudo termico, non riesce a bruciare e la bassa conduttività termica rallenta la penetrazione del calore all'interno. Fornendo ulteriormente calore dall'esterno si supera il periodo di combustione rallentata con susseguente pirolisi degli strati più interni, ma per aversi combustione viva occorre che in superficie vi sia una fiamma che incendi i gas emessi in modo che l'ossigeno dell'aria venga a contatto con la superficie carbonizzata che comincia a bruciare spontaneamente raggiunta la temperatura di ignizione spontanea (360 °C) anche prima dell'infiammarsi dei gas che richiedono il raggiungimento delle temperature di infiammabilità e il mantenimento dei limiti di concentrazione (gas + comburente ) necessari per l'infiammabilità stessa. Questa concentrazione verrà raggiunta solo dopo che i gas si saranno

mescolati all'ossigeno dell'aria e ciò avverrà solo ad una certa distanza dalla superficie da cui fuoriescono i gas, per cui le fiamme saranno del tutto esterne al legno, con temperature che possono superare i 1000 °C e velocità di combustione dipendente dal ricambio d'aria, dalla configurazione e dal rapporto tra superficie e volume degli elementi in legno. Tutto quanto detto presuppone che le strutture massicce in legno non possiedano organi di collegamento metallici nel qual caso in corrispondenza delle parti metalliche il legno viene distrutto molto rapidamente. Ciò accade perché il metallo è un buon conduttore del calore per cui si scalda con facilità e raggiunta la temperatura di 300 °C distrugge il legname con il quale è a contatto. Il grado di combustibilità non è unico e definito ma dipende da parecchi fattori quali : la qualità dell'essenza (le essenze forti resistono al fuoco meglio di quelle dolci come la betulla), dal rapporto superficie - volume (minore è questo rapporto minore è il grado di combustibilità, infatti una grossa suddivisione rende il legname estremamente pericoloso), dal grado di umidità (un'elevata percentuale d'acqua ne diminuisce la combustibilità), dalla elevatezza della temperatura cui è esposto e dalla superficie di esposizione, dal contatto più o meno libero dell'aria [36].

Venendo propriamente alla resistenza al fuoco (un procedimento analitico per valutarla è descritto nella norma UNI 9504 e successiva norma europea sperimentale ENV 1995-1-1 o Eurocodice 5) degli elementi portanti, cioè alla loro capacità di mantenere intatta la funzione strutturale per un certo tempo a partire dall'inizio dell'incendio, il legno strutturale presenta caratteristiche spiccatamente favorevoli in confronto con altri materiali da costruzione come l'acciaio. Infatti, il legno è un ottimo isolante termico: la sua bassissima conducibilità termica impedisce al calore di propagarsi all'interno della sezione, bruciando lentamente e quindi solo un limitato spessore esterno brucia e carbonizza, mentre il

resto del legno rimane freddo, intatto e efficiente dal punto di vista meccanico, (si pensi ad una parete costituita da un semplice assito che attaccata dal fuoco già su di una faccia, sull'altra non sarà calda che in misura irrilevante e non irradierà mai tanto calore da incendiare oggetti che si trovano da quella parte ma diventerà pericolosa solo quando anche quella parte comincerà a bruciare). Sperimentalmente è stato dimostrato che l'avanzamento progressivo della carbonizzazione dall'esterno verso l'interno procede con velocità costante pari a circa 1 mm di spessore di legno al minuto. Grazie a questo meccanismo invariabile, è possibile da un lato dimensionare gli elementi lignei in funzione della resistenza al fuoco desiderata (60, 90, 120 minuti e oltre), dall'altro stimare la sezione resistente residua dei vari elementi e stabilire a quale intervallo di tempo dall'inizio di un eventuale incendio è in grado di resistere. La rottura avverrà quando la parte della sezione non ancora carbonizzata è talmente sottile da non riuscire più ad assolvere la sua funzione portante, pertanto la perdita di efficienza avviene per riduzione della sezione e non per decadimento delle caratteristiche meccaniche e a seconda della specie legnosa e delle dimensioni originarie della sezione la rottura può avvenire in un tempo variabile fra alcuni minuti e alcune ore. A condizione che venga realizzata una corretta progettazione e utilizzando opportune precauzioni costruttive, le strutture di legno offrono un elevato grado di sicurezza nei confronti del fuoco, permettendo di soddisfare una delle regole fondamentali in materia di prevenzione incendi: evacuare in tempo utile le aree colpite e intervenire opportunamente per riportare l'evento sotto controllo. E quindi un materiale in un certo senso 'leale' che non cede di schianto sotto l'azione del fuoco, ma svela apertamente, attraverso il suo stato di consumazione e di incurvamento, lentamente progressivo, le sue reali condizioni statiche. Inoltre, gli elementi di legno non sono soggetti a fenomeni di dilatazione termica, deformandosi molto

poco se esposti al fuoco, di rammollimento che provocano i maggiori dissesti nelle strutture ad armatura metallica, non rilasciano gas tossici durante la combustione; per elementi di sezione limitata e quindi più vulnerabili si possono adottare soluzioni per proteggerli dal fuoco, limitarne l'azione, ritardarne l'infiammabilità. L'ignifugazione risulta un provvedimento opportuno e indispensabile specie se il legno è usato in pezzature di spessore sottile in modo da avere ritardi di accensione anche fino ad un' ora, rendendolo non infiammabile per un tempo sperimentalmente determinato; quando invece ha funzioni portanti risulta più semplice e meno costoso maggiorarne le sezioni resistenti in base alla resistenza al fuoco che si vuole conferire, spessori determinabili nota la velocità con cui procede la combustione nell'essenza adoperata. Infatti poiché la superficie di separazione fra la parte combusta (costituita da uno strato carbonioso a resistenza meccanica nulla) e la parte integra (costituita dal legno incombusto che mantiene integre le originarie caratteristiche meccaniche) si presenta di regola molto netta, è ovvio che la diminuzione delle capacità portanti siano determinate unicamente dalla diminuzione della sezione resistente. La protezione delle strutture in legno può ottenersi sia ricoprendo le superfici esterne con vernici ignifughe, che migliorano l'infiammabilità, o intumescenti, che producono un effetto schiumogeno e rallentano la combustione alzandola temperatura di ignizione, o altri rivestimenti isolanti, sia trattando il legno con prodotti più propriamente ignifuganti, ossia capaci di interagire negativamente sui fattori della combustione impedendola o ritardandola per un determinato tempo. L'impregnazione dei legnami può avvenire in autoclave sotto pressioni di 8 ÷ 20 bar per tempi da 1 a 24 ore, previa loro essicazione sotto vuoto, trattamento che richiede apparecchiature alquanto complesse, personale qualificato, onerosissimo, tanto da portare al raddoppio del costo delle essenze ignifugate ed inoltre non tutte le

essenze si prestano al trattamento suddetto. Qualora non sia richiesta un' impregnazione a tutto spessore si possono usare dei sali ignifuganti per impregnare solo lo spessore necessario al tempo di resistenza al fuoco che si vuole garantire; in questo caso l'impianto è più semplice, si opera a 90 ÷ 95 °C, procedendo a immersioni ripetute in bagni salini a concentrazione differenziata a seconda delle essenze da trattare. Non è possibile l'immersione diretta per pannelli di fibre, trucioli di legno, paniforti e compensati dato che le soluzioni provocherebbero dei rigonfiamenti che minerebbero la coesione ad essicazione avvenuta, per cui in questo caso si ricorre all' additivazione a secco dei sali con accorgimenti particolari. I trattamenti di ignifugazione sono permanenti se i materiali trattati sono al riparo dalle intemperie, se invece sono soggetti alle intemperie si verifica una lenta perdita dei sali ignifuganti, per cui è necessario proteggerli con vernici appropriate non infiammabili.
Nella pavimentazione dell'autobus troviamo come legno la betulla che è un legno di tipo tenero o dolce avente cioè un peso specifico inferiore a 550 kg/m$^3$, sotto forma di compensato multistrato di 12 mm costituito da un insieme di fogli di legno sovrapposti, solitamente in numero dispari, detti piallacci, ottenuti per sfogliatura del tronco, resi solidali mediante incollaggio con resine sintetiche termoindurenti e pressatura a caldo; i fogli vengono sovrapposti in modo tale che la senso delle fibre prevalente degli strati contigui sia generalmente ad angolo retto in modo da aumentare la resistenza meccanica e per compensare il naturale ritiro e la tendenza del legno a imbarcarsi.

## 6.6 VETRO

I vetri [33],{39 e 40} sono ottenuti per consolidamento di masse liquide senza che siano avvenuti i processi di cristallizzazione; pur mantenendo

lo stato amorfo e la perfetta isotropia dei liquidi, in seguito ad un enorme aumento della viscosità nel corso del raffreddamento acquistano le caratteristiche meccaniche e la rigidità tipiche delle sostanza solide. I materiali utilizzati per la fabbricazione sono un miscuglio di silicati alcalini (di sodio, potassio) con silicati di altre basi che a seconda delle vari qualità dei vetri possono essere : calce, barite, magnesia, allumina, ossido di piombo, ossido di zinco, di bismuto, di zirconio, ecc. Nell' autobus le superfici vetrate esterne sono realizzate in cristallo temprato di sicurezza (vale a dire che in caso di rottura non danno luogo a proiezione di schegge a spigoli vivi con eventuale possibilità di danno alle persone) color bronzo, mentre il parabrezza è un cristallo in vetro stratificato. Per vetro temprato deve intendersi un vetro comune che dopo le operazioni di foggiatura è stato portato a una temperatura (circa 700 °C) di poco inferiore a quella di rammollimento e poi raffreddato bruscamente mediante getti di aria. Si originano così nel materiale delle tensioni interne che pongono la zona superficiale in compressione e le parti sottostanti risultano in tensione, compensando in questo modo gli sforzi di trazione che il materiale subisce quando è posto in opera. Il vetro presenta così una maggiore resistenza agli urti e agli sbalzi termici e in caso di rottura si frantuma in una miriade di frammenti assai piccoli arrotondati e privi di pericolosità. Il vetro stratificato è invece un pannello di vetro composto da almeno due lastre e uno strato intermedio e le lastre sono saldate su tutta la superficie con lo strato intermedio durante il procedimento di produzione. In conseguenza delle loro caratteristiche strutturali i vetri non presentano una temperatura di fusione definita, ma passano gradualmente dalla rigidità caratteristica dei solidi alla fluidità dei liquidi attraverso un intervallo di temperatura piuttosto ampio, nel corso del quale manifestano una progressiva diminuzione di viscosità. Fornendo calore gradualmente a un vetro e a una sostanza cristallina si

nota che mentre per quest'ultima al di sotto della temperatura di fusione $t_f$ il materiale è completamente solido e poi a $t_f$ la temperatura rimane costante sino a che tutta la sostanza non sia diventata liquida, poi al di sopra di $t_f$ è presente solo la fase liquida, per il vetro invece non si ha nessun arresto nella variazione di temperatura e la curva del riscaldamento mostra solo un cambiamento nell'inclinazione in corrispondenza del graduale passaggio dallo stato rigido ad uno stato pastoso ed infine liquido vero e proprio. Il comune vetro da finestra non ha alcuna attitudine a resistere al fuoco e infatti a causa delle tensioni interne generate da un riscaldamento non omogeneo o su di una faccia, si rompe subito e negli incendi non offrono resistenza alcuna né all'azione delle fiamme né ad un calore di irraggiamento o dei gas caldi dell'ordine di 200 °C; il vetro comune inoltre fonde a temperature relativamente basse (800 ÷ 1000 °C) e già a 400 °C incomincia a diventare pastoso. In definitiva nonostante sia completamente incombustibile e non alimenti le fiamme, una volta esposto al calore sopraggiunge la rottura a temperature relativamente basse tendendo ad uscire poi dal telaio. Per quanto non esistano vetri a prova di fuoco, con la combinazione dosata di vetri speciali e altri materiali e grazie a forme appropriate si sono potute realizzare soluzioni aventi un certo grado di resistenza al fuoco e che garantiscono la tenuta dei fumi di combustione, ma non l'isolamento termico a causa del calore d'irraggiamento. Riguardo alla valutazione e classificazione di resistenza al fuoco degli elementi vetrificati trasparenti o traslucidi si può fare riferimento alla norma UNI EN 357:2002.

## 6.7 I PRODOTTI TESSILI

E' importante rilevare che, nella maggior parte degli incendi sui mezzi di trasporto, i materiali d'arredo [106 a 108],{41} risultano uno dei fattori

più critici da tenere sotto controllo ed infatti le sedute imbottite e i tendaggi rappresentano la gran parte del carico d’incendio. I prodotti tessili, fra i materiali utilizzati per decorazione e arredamento, rappresentano uno degli elementi più importanti da valutare nel comportamento di fronte al fuoco, siano essi in fibre naturali o in fibre man made, sono infatti quasi sempre di natura combustibile, perché strutturalmente voluminosi, inglobanti aria e quindi più facilmente soggetti all’innesco e alla propagazione della fiamma. Per tale motivo è quindi opportuno utilizzare fibre, manufatti tessili o idonei trattamenti dotati di un buon comportamento a contatto con il fuoco : la loro funzione, oltre a quella decorativa, deve essere di opporre una prima barriera all’insorgere e al propagarsi dell’incendio, ritardandone l’innesco, bruciando più lentamente possibile, non emettendo fumi pericolosi o tossici e possibilmente, autoestinguendosi. L’influenza dei tessili nello sviluppo del fuoco è variabile in funzione delle diverse applicazioni: tendaggi sospesi, mobili imbottiti, rivestimenti pareti, pavimentazioni. Il successivo elenco mostra schematicamente le criticità dei vari impieghi, correlandone il livello di rischio al tipo di utilizzo specifico :

- ✓ **tende, tendaggi e materiali sospesi,** è l’ applicazione più critica perché : il calore sale verso l’alto, esposta all’aria su due lati, soggetta a propagare le fiamme, diffusa in tutti gli ambienti;
- ✓ **materiali imbottiti,** è un impiego molto critico perché : spesso è la fonte d'innesco, dovuto alle cause più banali, fiamme libere, mozziconi, scintille, particolarmente critico il c.d. "bedding;
- ✓ **rivestimenti delle pareti**, la criticità dipende dalla modalità di posa : se il tessuto è teso la pericolosità è pari a quella dei tendaggi, se il tessuto è incollato su un supporto non combustibile il pericolo è minore;

- ✓ **pavimentazioni** è l' impiego meno critico perché : in posizione orizzontale, incollato a un supporto non combustibile, in pratica l'incendio non si propaga, o lo fa con velocità ridotta consentendo di intervenire per lo spegnimento.

Le disposizioni italiane su questo tema risalgono a quasi vent'anni fa, datando il primo decreto ministeriale del giugno 1984. Con esso sono stati stabiliti i metodi di prova da utilizzare per ottenere la certificazione dei prodotti tessili, in relazione al loro comportamento al fuoco, a cura dei laboratori legalmente riconosciuti e la successiva omologazione da parte del Ministero dell'Interno. Le varie tipologie di tessili antifiamma, disponibili sul mercato, possono essere classificate, in base alla natura delle fibre componenti e ai conseguenti diversi livelli di performance dei manufatti da esse derivati come :

- ✓ **non combustibili** : realizzati con fibre di vetro, fibre minerali o fibre metalliche, hanno eccellente reazione al fuoco ma scarse proprietà tessili per cui il loro impiego è limitato;
- ✓ **resistenti al calore** : realizzati con fibre al carbonio, fibre aramidiche o fibre poliammidiche presentano ottima reazione al fuoco, scarse proprietà tessili, costo assai elevato, impiego in settori hi-tech;
- ✓ **intrinsecamente flame retardant** : realizzati con fibre man made intrinsecamente additivate con prodotti ignifughi hanno buona reazione al fuoco, ottime proprietà tessili/estetiche, costo accettabile dal mercato, impiego in tutti i settori normati;
- ✓ **tradizionali post-trattati** : realizzati con fibre tradizionali e poi trattati in superficie con prodotti ignifughi presentano sufficiente reazione al fuoco, non permanente nel tempo, sensibile a lavaggi ed abrasione.

A proposito invece delle fibre, il metodo più comune per la valutazione del loro comportamento al fuoco è il cosiddetto L.O.I. (Limit Oxigen Index), valore che, misurato con un test specifico, definisce la percentuale di ossigeno necessario nell'ambiente per far avvenire la combustione di un determinato materiale. Se si considera che, in condizioni normali, la percentuale di ossigeno nell'aria è intorno al 21%, si può dire che le fibre con un L.O.I. superiore a 28 (cioè, in qualche modo, più "affamate" di ossigeno) hanno un buon comportamento flame retardant.

**Tabella 63 :** ***Indice LOI per diversi tipi di fibre***

| TIPO DI FIBRA | L.O.I. % |
|---|---|
| ACETATO | 18 |
| ACRILICA | 18 |
| POLIPROPILENICA | 18 |
| COTONE | 19 |
| RAION VISCOSA | 19 |
| POLIESTERE | 22 |
| POLIAMMIDICA | 22 |
| LANA | 25 |
| COTONE TRATTATO FR | 28 |
| RAION VISCOSA FR | 28 |
| POLIESTERE FR | 29 |
| MODACRILICA | 31 |
| LANA TRATTATA FR | 31 |
| CLOROVINILICA | 40 |
| ARAMIDICHE | 29-34 |
| POLIAMMIDE-IMMIDE | 30-32 |
| POLIACRILATO RETICOLATO | 45 |
| POLIBENZENIMIDAROLO | 48 |
| ACRILICI PREOSSIDATI | 50 |



E' necessario comunque ricordare che l'indice L.O.I. non garantisce da solo il superamento dei singoli test per i vari utilizzi ed infatti giocano un ruolo importante anche il peso, la struttura e il finissaggio del tessuto; come si può vedere dalla tabella, esiste un gruppo di fibre di facile

infiammabilità, caratterizzate da un indice L.O.I. compreso tra 18-20 (acrilico, cotone, polipropielene) e 22 (poliammide e poliestere). Tuttavia per queste ultime due fibre bisogna sottolineare come, nonostante il valore relativamente basso, sia possibile utilizzarle in quei settori in cui le condizioni d'uso e i test relativi non sono particolarmente critici. Esistono inoltre diverse fibre caratterizzate da valori compresi tra 28 e 31 che hanno avuto la maggiore diffusione per la produzione di manufatti tessili destinati agli utilizzi più diversi in tutti gli ambienti a rischio, sottoposti alle specifiche normative sulla prevenzione incendi, perché, a proprietà di reazione al fuoco adeguate, uniscono costi, doti di processabilità e qualità tessili ed estetiche adatte alla maggior parte delle esigenze espresse dal mercato.

Queste fibre, spesso contraddistinte dalla sigla FR, grazie alla loro struttura molecolare ottenuta durante il processo di polimerizzazione, hanno il vantaggio di conferire ai tessuti proprietà ignifughe permanenti, esplicando un'azione di ritardo o di inibizione della fiamma.

I processi chimici attraverso i quali si raggiungono tali risultati, dovuti alla incorporazione, direttamente nel polimero, di particolari additivi, agiscono incrementando la quantità di calore necessaria per la pirolisi, rendendo così necessarie per la combustione fonti di calore più intense, facilitando la produzione di prodotti volatili incombustibili, riducendo la quantità e la velocità di formazione dei gas combustibili, favorendo, durante la pirolisi, l'emissione di prodotti volatili inibitori di ossidazione, in grado di rallentare la combustione.

Un livello ancora superiore di L.O.I. (da oltre 30 a 50) caratterizza un terzo gruppo di fibre, quelle resistenti al calore, quali le fibre di carbonio, le fibre aramidiche e altre costituite da polimeri a nuclei aromatici o ciclici condensati. I prodotti tessili con esse realizzati, nella decomposizione, tendono a carbonizzare e non emettono gas

infiammabili. Sono manufatti tecnici di costo elevato, che richiedono particolari accorgimenti per la produzione e la trasformazione, di conseguenza il loro impiego, per altro in significativa crescita, è riservato a settori specifici, che sono disposti a pagare il prezzo di prestazioni superiori, frutto dell'alta tecnologia.
Nel trasporto su gomma è stata emessa una direttiva denominata 95/28 CE del Parlamento Europeo (del Consiglio del 24/10/1995) relativa al comportamento alla combustione dei materiali usati per l' allestimento interno di talune categorie di veicoli a motore, che si applica agli autobus extraurbani superiori a 25 posti a sedere. I materiali vengono omologati e in tal modo possono essere commercializzati all'interno dell' Unione Europea attraverso un certificato che deve essere emesso dal Ministero dei Trasporti dei singoli Paesi e non attraverso enti ed organismi notificati. Le prove richieste sono in riferimento all'impiego dei materiali e rispettano le possibili condizioni di innesco e di propagazione che si possono verificare, quindi sono previste prove di propagazione verticale per le tendine, prove di propagazione orizzontale per tutti i materiali di allestimento ad esclusione di quelli per cui è previsto il gocciolamento (come allestimenti del tetto) e per le cappelliere.

## 6.8 MATERIALI COMPOSITI

Il termine composito indica un materiale composto [109 a 111], {42 a 44} da più fasi; un composito fibroso è costituito da due fasi : una fase detta *matrice* che ne determina le caratteristiche di riconoscimento e una fase filiforme detta *fibre* che determina le caratteristiche meccaniche. Possono aversi sia matrici che fibre di natura metallica, ceramica e polimerica dalla cui unione ne risultano delle proprietà finali non presenti in nessuno dei materiali costituenti il composito.

I compositi fibrosi sono classificati a seconda del tipo di matrice in metallici e ceramici, polimerici; quest' ultimi sono quelli tuttora più utilizzati e sono appunto costituiti da una matrice polimerica (o di tipo termoindurente TI o termoplastica TP o una terza classe indicata come resina espansa) e fibre di vario tipo. Le matrici **TI** (poliestere o epossidica) sono quelle per ora più utilizzate, mentre l'uso di matrici **TP**, inizialmente relegato al solo settore aeronautico, sta ampliando il raggio d'azione ad altri settori. Nel settore dei trasporti l'interesse verso i compositi è stato rallentato da due caratteristiche critiche quali i costi di produzione e i ritmi produttivi; infatti la necessità di passare attraverso la polimerizzazione della matrice rende il processo di fabbricazione in genere lento o difficilmente velocizzabile per cui i ritmi di produzione sono difficilmente paragonabili con quelli produttivi relativi per esempio allo stampaggio di lamiere metalliche, anche se alcune tecnologie stanno evolvendo verso maggiori velocità di produzione. Per i costi c'è da dire che sebbene i costi unitari dei compositi possono essere maggiori di quelli relativi ai materiali tradizionali, bisognerebbe riferirsi all'intero ciclo di vita per il computo esatto del costo, includendo anche le altri voci del costo globale quali costo del trasporto, manutenzione, riparazione, montaggi, resistenza alla corrosione o ad atti vandalici. Pertanto l'utilizzazione risulta attraente nel caso siano richiesti materiali leggeri con caratteristiche elevate come nel caso della testata di motrice per treni ad alta velocità in cui l' alleggerimento rende meno costosa la costruzione e offre maggiori soluzioni di design conformi alle richieste del mercato.

La resistenza al calore e al fuoco dei materiali compositi è da sempre conosciuta come il punto debole tra le proprietà dei materiali compositi a matrice polimerica. Pur premettendo che ciò sia sostanzialmente vero. Occorre ricordare gli enormi progressi fatti negli ultimissimi sviluppi tecnologici dei polimeri riguardo a una delle caratteristiche di maggior

importanza concreta sull'argomento di resistenza al calore dei compositi, cioè l'emissione di fumi pericolosi. E' infatti questo aspetto che interessa. Anche se non esaustivamente, per gli aspetti di sicurezza. Esistono infatti polimeri con bassa remissività che danno forti garanzie sugli aspetti di sicurezza. Inoltre, è possibile aggiungere alla matrice additivi ignifughi, ma la loro reale efficacia è legata alle proprietà reologiche della resina, in quanto la fase di impregnazione può diventare maggiormente complicata e non sempre permette di elevare la quantità di fibre.

### 6.8.1 I materiali compositi polimerici

In seguito ad incendio i materiali compositi polimerici [89] possono fornire una abbondante quantità di idrocarburi, per cui il materiale stesso può considerarsi una sorgente di combustibili che determina innalzamento della temperatura e la crescita del fuoco anche dopo che la sorgente originale del combustibile è estinta. Per cui quando il composito è riscaldato a una temperatura sufficientemente alta, nell' intervallo tra 350 e 600 °C nella maggior parte dei casi, la matrice polimerica e se presenti le fibre organiche si decompongono termicamente dando luogo a produzione di gas infiammabile. La decomposizione da luogo a una serie di reazioni che rompono le catene polimeriche in elementi a più basso peso molecolare che si diffondono all'interno della fiamma e a seconda della composizione chimica e molecolare del polimero, le reazioni di degradazione termica possono procedere secondo diverse modalità. La maggior parte di resine organiche e fibre usate nei compositi si degradano secondo un processo di scissione a catena casuale, che inizia solitamente dove è presente una irregolarità della catena dovuta alla presenza di legami più deboli, determinando la rottura delle lunghe catene organiche in piccoli frammenti. I polimeri possono anche decomporsi secondo altri

processi come la depolimerizzazione che determina la rotture delle catene in monomeri e la scissione a partire dalla catena finale lungo l'intera lunghezza della catena fino alla degradazione completa. Indipendentemente dal processo di decomposizione, quando la tensione di vapore e il peso molecolare dei frammenti della catena polimerica diventano sufficientemente piccoli, diffondono nella fiamma; la maggior parte dei gas coinvolti sono idrocarburi volatili che risultano altamente infiammabili per cui divengono a loro volta combustibile in grado di sostenere la fiamma. A seconda della natura chimica dei polimeri si volatilizza tra il 30% e 100% della matrice organica e delle fibre e quindi gran parte dei componenti dei compositi può provvedere allo sviluppo di abbondanti gas infiammabili. Nella combustione dei gas si determina la formazione di radicali altamente attivi H che combinandosi con l'ossigeno nella fiamma producono radicali idrossilici che a loro volta combinandosi con il monossido di carbonio danno luogo a radicali di tipo H, innescando un processo, detto ciclo di combustione dei polimeri organici, che si autosostiene quando vi è sufficiente quantità di ossigeno e si ferma solo quando la sorgente di combustibile si esaurisce ossia i componenti organici del composto si sono completamente degradati.
Il comportamento al fuoco dei materiali compositi è governato da processi chimici legati alla decomposizione termica della matrice polimerica e se presente delle fibre organiche. Quando il materiale viene esposto ad un elevato flusso di calore irradiato dal fuoco, il materiale polimerico e le fibre organiche si decompongono termicamente in gas volatili, sostanze carbonifere e fumo. I volatili, composti sia da vapori e gas infiammabili (CO, metano e composti organici a basso peso molecolare), sia non infiammabili (anidride carbonica e acqua), diffondono nella zona delle fiamme dove i volatili infiammabili reagiscono con l'ossigeno presente nell' atmosfera del fuoco conducendo

alla formazione dei prodotti finali della combustione ($CO_2$, $H_2O$, particelle di fumo e piccole quantità di CO), accompagnata dal rilascio del calore. Affinché il processo si autosostenga è necessario che una sufficiente quantità di calore ritorni al composito per continuare la produzione di gas infiammabili.

I principali *danni* subiti dai laminati sono la formazione di sostanze carbonifere, rammollimento, degradazione della matrice e delle fibre organiche e de laminazione e rottura della matrice. Sottoponendo un composito da un lato a riscaldamento, la superficie calda direttamente esposta al fuoco è la prima regione a decomporsi in carbone, il contenuto polimerico in questa regione è trascurabile perché la matrice si è completamente degradata e qualunque residuo organico si è condensato in carbone.

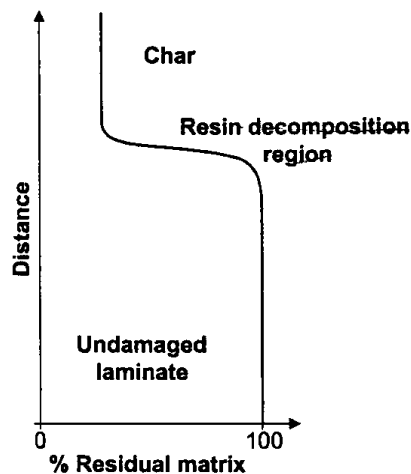



**Figura 71 :** ***Sezione di un laminato danneggiato dal fuoco mostranti le diverse zone di danno***

Al di sotto della zona carbonifera vi è una zona sottile chiamata zona di decomposizione dove la matrice polimerica è stata riscaldata al di sotto della temperatura di decomposizione della reazione ma al di sotto della temperatura di formazione del carbone. In questa regione la matrice è parzialmente degradata, generalmente dalla scissione delle catene in

frammenti ad alto peso molecolare che sono troppo pesanti per vaporizzare; comunque il processo di decomposizione non è completo e quindi la matrice non è stata ridotta a sostanze carbonifere e gas di combustione. Al di sotto della zona di decomposizione il composito contiene delle cricche di delaminazione tra gli strati. La regione più vicina alla superficie fredda del è laminato non è interessata dal fuoco perché la temperatura è troppo bassa per causare qualunque rammollimento e decomposizione della matrice. Col proseguimento dell'esposizione al fuoco le zona di decomposizione e carbonifera si muovono progressivamente verso la superficie non esposta ed eventualmente la matrice polimerica viene completamente degradata in carbone. La formazione di strati carboniferi è un importante processo perché può promuovere un significativo ritardo della fiamma; i polimeri con notevole produzione di prodotti carboniferi generalmente posseggono un tempo più lungo di ignizione, un più basso tasso di rilascio del calore e di propagazione della fiamma e generano meno fumi e gas tossici di un polimero a più basso tasso di formazione di prodotti carboniferi. Questi prodotti possono anche migliorare la resistenza al fuoco limitando l'accesso dell'ossigeno dall'atmosfera alla regione del composito in decomposizione e rallentare la combustione. Inoltre possono agire come barriera contro il flusso dei volatili dalla zona di decomposizione rallentando l'ignizione, la velocità della fiamma e riducendo il tasso di rilascio del calore. Infine possono aiutare a garantire l'integrità strutturale del composito danneggiato dal fuoco mantenendo le fibre in luogo dopo che la matrice è stata danneggiata.

#### *6.8.1.1 Proprietà di reazione al fuoco dei compositi polimerici*

Di seguito si descrivono alcune proprietà di reazione al fuoco dei materiali compositi polimerici rinforzati con fibre :

**Tempo di ignizione** : l'ignizione definisce l'inizio della combustione con fiamma; le resine organiche, comunemente utilizzate nei compositi, possono prendere fuoco entro un tempo molto breve di esposizione al fuoco. In seguito all'accensione. I compositi spesso bruciano con fiamme ad alte temperature che contribuiscono a una rapida diffusione del fuoco. L'accensione si verifica solitamente quando la superficie del composito esposto al fuoco viene riscaldata alla temperatura di transizione endotermica della matrice polimerica; la reazione di decomposizione termica della matrice produce gas volatili infiammabili che fluiscono dal composito verso la fiamma. Quando la quantità di volatili all'interfaccia composito-fuoco raggiunge una composizione critica l'accensione e la combustione con fiamma hanno inizio. Molti dei volatili vengono generati dalla decomposizione endotermica della matrice polimerica e a seconda del tipo di resina, possono includere una miscela di componenti infiammabili come monossido di carbonio, vapore di stirene composti aromatici e altri idrocarburi a basso peso molecolare. Si definisce quindi *tempo di ignizione* il tempo minimo per promuovere l'ignizione e continuare a produrre le fiamme per un materiale combustibile quando è esposto a un flusso esterno di calore e dipende da diversi fattori : disponibilità di ossigeno, la temperatura, le proprietà chimiche e termofisiche della matrice polimerica e fibre di rinforzo.

**HRR** : è il tasso di rilascio del calore ossia è l'energia termica prodotta per unità di superficie quando i prodotti infiammabili prendono fuoco e bruciano in vicinanza di un materiale incendiato o soggetto a un flusso di calore. Il picco di HRR si verifica in un breve periodo di tempo e spesso

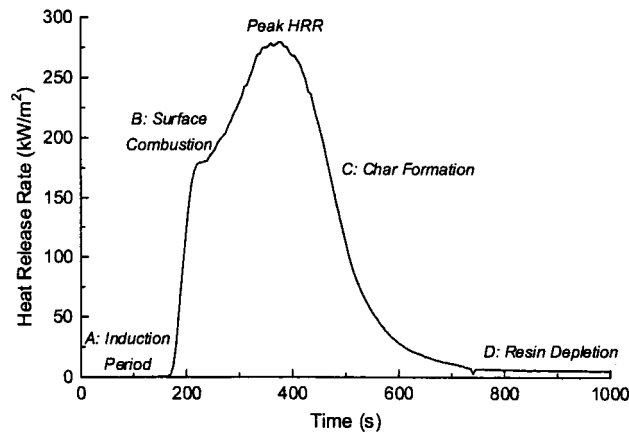
immediatamente dopo immediatamente dopo l'accensione ed è un buon indice della massima infiammabilità del materiale. Il profilo dell'HRR varia considerevolmente nel tempo per effetto di eventi chimici e termici che si verificano all'esposizione al fuoco. Nella figura viene mostrato un :



**Figura 72 :** ***Profilo del tasso di rilascio del calore per composito***

1) evento **A**, periodo di iniziale induzione, durante il quale il composito non rilascia alcun calore perché il tempo di esposizione al flusso di calore esterno è insufficiente a riscaldarlo alla temperatura di decomposizione della reazione;
2) evento **B**, successivamente si verifica un rapido incremento di HRR dovuto all' improvviso rilascio di calore dall'accensione dei volatili infiammabili rilasciati dal film superficiale ricco di resina sul composito;
3) evento **C**, la curva continua a crescere fino a un picco dopo il quale l'HRR decresce progressivamente nel tempo per la formazione e crescita dei prodotti carboniferi in superficie, che riducono l'HRR in due modi : da un lato agiscono da isolante termico che ritarda il trasferimento del calore ai materiali vergini sottostanti e perciò rallenta la reazione di decomposizione, dall'altro limitano la formazione di gas combustibili al fronte di fiamma;

4) evento **D**, l'HRR diventa trascurabile quando la matrice polimerica è completamente degradata.

P**erdita di massa** : è una misura quantitativa della quantità di materiali che si decompongono nel fuoco; nel diagramma seguente vengono mostrate :

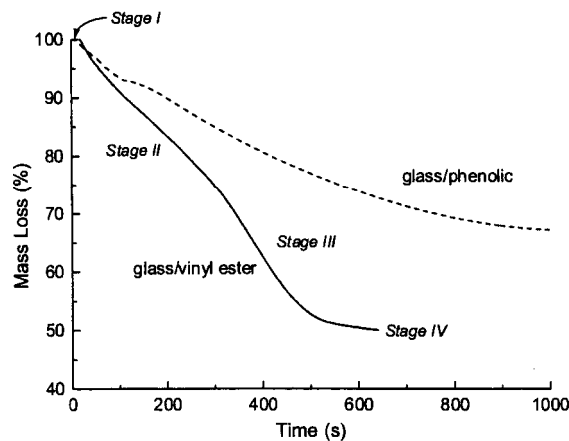



**Figura 73 :** ***Curve di perdita di massa per compositi***

le diminuzioni di peso nel tempo per alcuni materiali esposti a un flusso di calore costante di $50kW/m^2$. Le curve individuano 4 distinte regioni identificate dagli stadi da I a IV ciascuno rappresentante un differente evento nella risposta al fuoco del materiale. Lo **stadio I** rappresenta un periodo molto breve in cui il composito esposto al fuoco non subisce riduzioni di peso in quanto non ha ancora raggiunto la temperatura della reazione di decomposizione della matrice polimerica. Lo **stadio II** è caratterizzato da una rapida perdita di massa con l'aumentare del tempo per effetto della decomposizione endotermica della matrice. Successivamente nella **III fase** una variazione nella perdita di massa si verifica in quanto gran parte della matrice polimerica è stata degradata e solo una piccola regione di materiale vergine non è influenzata dal fuoco. Nello **stadio IV** la curva della perdita di massa raggiunge un valore

minimo costante perché la matrice polimerica è stata consumata e questa rappresenta la massa finale del laminato degradato. La perdita di massa è anche più alta quando fibre combustibili vengono usate in un composito poiché il rinforzo si decompone insieme alla matrice di resina.

**FUMI** : uno dei principali problemi di sicurezza con i compositi polimerici è la generazione di un denso fumo in un incendio; il fumo prodotto da un composito che sta bruciando è un mix di piccoli frammenti di fibre e particelle ultrasottili di carbone. Il fumo può essere estremamente denso, riducendo la visibilità, causando disorientamento e rendendo difficile combattere il fuoco. Il tipo di resina, il flusso di calore del fumo e le fibre di rinforzo possono influenzare la quantità di fumi rilasciati dal composito, ad esempio incrementando il contenuto di fibre, diminuisce la massima quantità di fumo in quanto meno materiale organico è disponibile per produrre fumo.

**Tossicità dei fumi** : la tossicità dei gas rilasciati durante la combustione è l'elemento che determina i maggiori rischi di salute, infatti è riconosciuto che la principale causa di morte è appunto la tossicità dei prodotto di combustione e il gas più pericoloso è il monossido di carbonio. La quantità di CO prodotta dal composito che brucia dipende dalla composizione dei costituenti organici, la temperatura del fuoco, la disponibilità di ossigeno ma anche livelli molto bassi di CO possono causare soffocamento o morte che si verifica entro un'ora quando la concentrazione nell'aria di CO raggiunge circa 1500 ppm. Diversi altri gas possono essere prodotti durante la combustione dei materiali compositi ed inoltre anche le fibre organiche generano gas tossici, nella tabella seguente si riporta la concentrazione di gas combusti per vari laminati termoplastici e termoindurenti :

**Tabella 64 :** ***Gas combusti rilasciati da un composito***

| COMPOSITE | CO (ppm) | $CO_2$ (vol%) | HCN (ppm) | HCl (ppm) |
|---|---|---|---|---|
| Glass/vinyl ester | 230 | 0.3 | not detected | not detected |
| Glass/epoxy | 283 | 1.5 | 5 | not detected |
| Glass/BMI | 300 | 0.1 | 7 | trace |
| Glass/phenolic | 300 | 1.0 | 1 | 1 |
| Glass/polyimide | 200 | 1.0 | trace | 2 |
| Glass/PPS | 70 | 0.5 | 2 | 0.5 |
| Glass/phthalonitrile | 40 | | | |
| Carbon/PEEK | trace | trace | not detected | not detected |

**LOI** : l'indice di limitazione dell'ossigeno è definito come la minima percentuale di ossigeno necessaria a sostenere la combustione con fiamma e può essere considerata una misura della facilità di autoestinzione del materiale che brucia; la figura mostra i valori di LOI per alcuni materiali compositi :

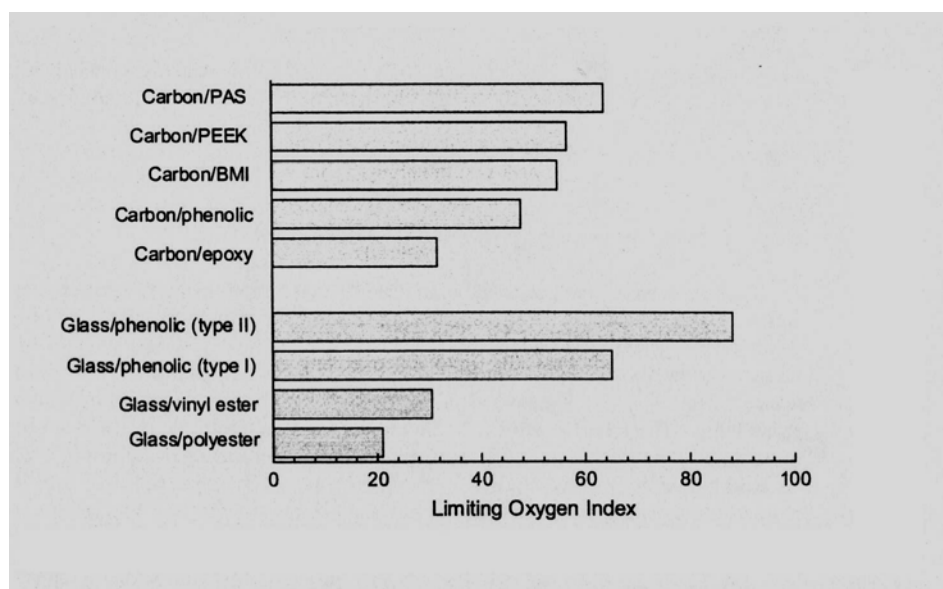



**Figura 74 :** ***LOI per vari materiali compositi***

Si nota che i compositi altamente stabili o i polimeri aromatici hanno un più alto valore dell' indice, inoltre esso per i polimerici si incrementa con la loro capacità di dar luogo a prodotti carboniosi in un incendio in quanto la formazione di quest'ultimi si verifica a spese dei combustibili volatili, che incrementano il livello di ossigeno richiesto per sostenere la combustione con fiamma. Il LOI oltre che dalla matrice polimerica è

influenzato da altri fattori quali il grado di trattamento delle resine, dal contenuto e dall'infiammabilità delle fibre di rinforzo.

**Propagazione della fiamma in superficie** : è la velocità con la quale la fiamma si propaga sulla superficie di un materiale combustibile, ed è un fattore critico nella crescita e diffusione dell'incendio. Per effetto dell'alta infiammabilità di molti compositi esiste un serio problema di sicurezza inerente le fiamme che rapidamente si diffondono e quindi incrementano la difficoltà di contenimento ed estinzione di un incendio. In figura si riporta il tempo impiegato dal fronte di fiamma a diffondersi attraverso il composito a partire dal punto di ignizione :

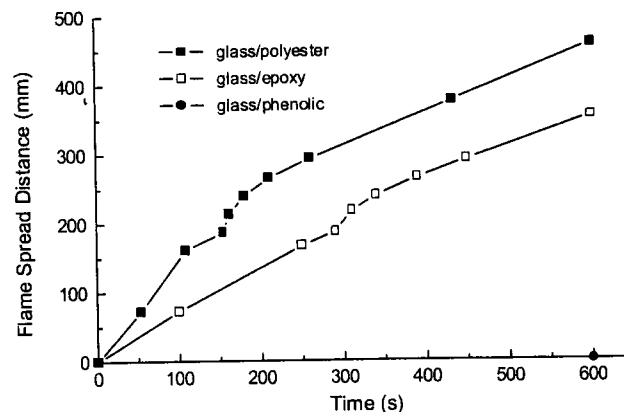



**Figura 75 :** ***Propagazione della fiamma superficiale nel tempo***

Mentre per alcuni materiali si evidenzia una rapida propagazione della fiamma a causa dell'elevata infiammabilità degli stessi, per altri si nota che la fiamma è incapace di diffondere nel laminato che può così considerarsi come un materiale autoestinguente.

**Resistenza al fuoco** : descrive la capacità di un materiale o una struttura di resistere alla propagazione del fuoco e di mantenere l'integrità fisica e meccanica; nella figura successiva ad esempio viene riportata una curva che mostra l'incremento di temperatura sulla faccia non esposta al fuoco di un provino laminato in funzione del tempo di esposizione al fuoco (una fornace alla T di 850 °C).

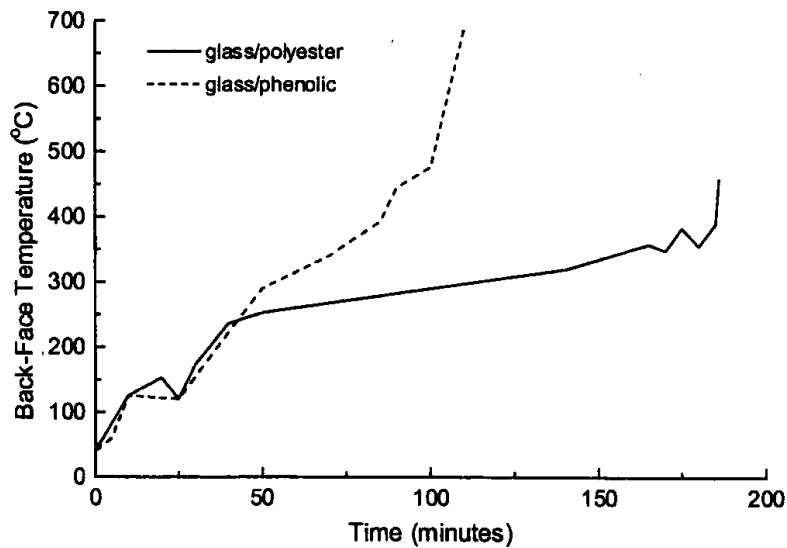



**Figura 76 :** ***Temperatura media sulla faccia non esposta al fuoco***

Si nota che, l'aumento della temperatura sulla superficie non esposta di un laminato fenolico nei primi 30÷40 minuti di prova di resistenza al fuoco in fornace è più basso che per un composito poliestere per effetto della maggiore resistenza all' infiammabilità della matrice fenolica. Successivamente la temperatura del laminato fenolico si incrementa molto più rapidamente per una de laminazione esplosiva causata da un incremento di pressione interna dovuto alla vaporizzazione dell'acqua intrappolata nella matrice polimerica. La resistenza al fuoco di un materiale combustibile è spesso definita dal tempo impiegato dalla superficie sottostante a raggiungere i 160 °C in cui l' incendio ha probabilità di espandersi agli ambienti vicini. Nella figura seguente viene comparata la resistenza al fuoco di differenti laminati sottoposti a 1100 °C.

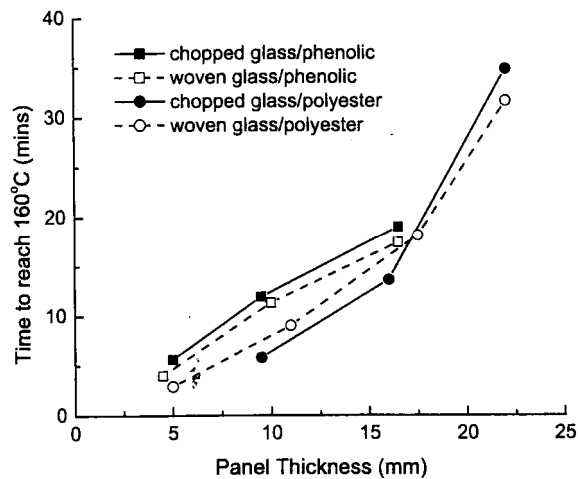



**Figura 77 :** ***Comparazione resistenza al fuoco per diversi compositi***

Si nota che il tempo per raggiungere i 160 °C si incrementa rapidamente con lo spessore del pannello e se si utilizzando sezioni sottili molti tipi di compositi sono in grado di resistere a temperature severe per un tempo considerevole grazie alla loro bassa conducibilità termica e alla natura endotermica della reazione di decomposizione della resina che rallenta la trasmissione del calore attraverso il composito. Si nota che i laminati fenolici hanno una resistenza al fuoco superiore per effetto della loro propensione a produrre residui carboniosi che agiscono da isolante verso la rapida trasmissione del calore. Altri studi eseguiti sui compositi a sandwich hanno mostrato che la resistenza al fuoco può essere migliorata notevolmente mediante l'uso di materiali aventi un'anima resistente al fuoco a bassa densità e a bassa conducibilità termica che può essere altamente efficace nel ridurre la trasmissione del calore, per cui questi compositi  sono da preferirsi ai singoli laminati nelle applicazioni ad alta resistenza al fuoco. Infine un'altra importante proprietà della resistenza al fuoco può considerarsi la *resistenza alla penetrazione* che è il tempo impiegato dal un incendio o una fiamma diretta a penetrare nel composito.

### 6.8.1.2 *Risposta del composito al fuoco*

Vediamo ora la sequenza di eventi che si verificano quando un composito è esposto ad una fiamma ad alta temperatura :

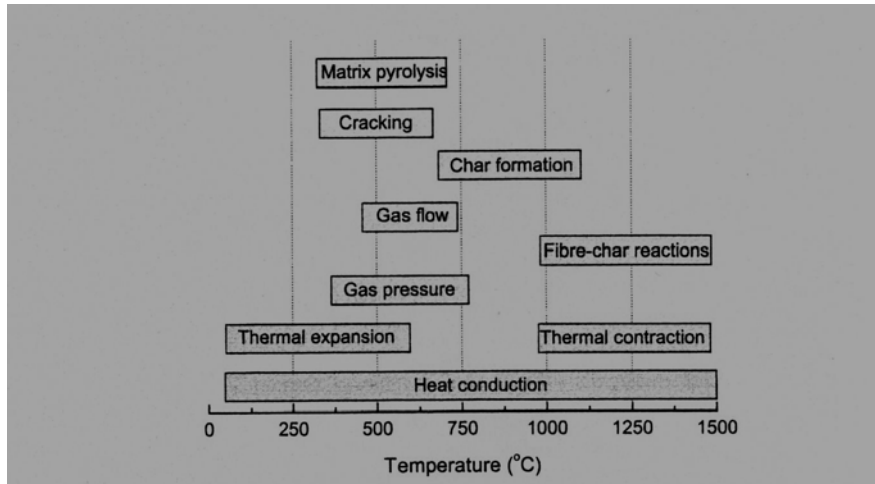



**Figura 78 :** ***Risposta alla temperatura di un composito***

Quando un flusso di calore viene applicato a un lato di un composito polimerico il primo evento è la conduzione del calore all'interno del materiale; il tasso di conduzione del calore dipende dall'influenza del flusso di calore e dalla diffusività termica del composito vergine, bassa nei materiali compositi, specialmente nella direzione di attraversamento dello spessore, per cui un gradiente di temperatura a gradini può svilupparsi attraverso il materiale. La conduzione del calore attraverso un composito è causa di espansione o contrazione a seconda della temperatura : al di sotto della temperatura di transizione vetrosa della matrice polimerica, l'ammontare della espansione dipende dal coefficiente lineare di dilatazione termica del materiale vergine, inoltre per effetto del gradiente termico attraverso il materiale l'espansione non sarà uniforme nella direzione dello spessore essendo più grande sulla superficie calda e riducendosi con la distanza al di sotto della superficie. La conduttività termica di alcuni tipi di fibre di carbonio è anisotropa e se riscaldate si espanderanno nella direzione trasversale e contrarranno nella

direzione assiale per cui è possibile che un materiale a fibra di carbonio espanda nella direzione dello spessore e simultaneamente si contragga nella direzione planare. Al di sotto della temperatura di decomposizione della matrice polimerica il trasferimento si verifica principalmente per conduzione con una piccola quantità di energia che viene assorbita nell'espansione termica. Quando la superficie di un materiale composito raggiunge una temperatura sufficientemente alta la matrice polimerica e le fibre organiche incominciano a decomporsi; la temperatura di decomposizione dipende dalla composizione e stabilità chimica del materiale organico, dal tasso di riscaldamento e dall'atmosfera del fuoco, sebbene tipicamente è all'interno del range $250 \div 400$ °C. All'aumentare della temperatura la matrice organica e le fibre vengono degradate in una sequenza di reazioni endotermiche che usualmente si verificano per scissione casuale delle catene (e scissione della catena finale e strappo della catena). Queste reazioni producono prodotti gassosi a basso peso molecolare ed eventualmente il materiale organico è completamente degradato a residui carboniosi porosi. I prodotti volatili della reazione fluiscono attraversano strati carboniosi verso la superficie calda del composito. Con l'innalzarsi della temperatura in superficie i volatili possono decomporsi mediante reazioni secondarie in specie di gas più piccoli. Riscaldando di $100 \div 150$ °C si determina anche la vaporizzazione di misture presenti nella matrice polimerica; la vaporizzazione della mistura assorbita dalle fibre aramidiche si verifica in questo range di temperature. Le reazioni di decomposizione di molte matrici polimeriche e fibre organiche sono endotermiche e quindi ritardano la conduzione del calore nella zona di reazione. La volatilizzazione di acqua presente nel laminato avrà simile effetto di raffreddamento nella conduzione del calore. I prodotti volatili delle reazioni e le miscele vaporizzate vengono inizialmente intrappolate per effetto della bassa permeabilità ai gas dei

compositi e questo conduce a un rapido incremento della pressione interna e una larga espansione del materiale. La pressione del gas entro i laminati in decomposizione può anche raggiungere le 200 atm. Poiché la matrice polimerica è riscaldata al di sopra della temperatura di transizione vetrosa, la pressione esercitata dai gas intrappolati può portare alla formazione di pori riempiti di gas, delaminazione e cricche della matrice. Se la matrice diviene sufficientemente porosa e con cricche, i prodotti volatili e il vapore d'acqua fluiscono attraverso la regione degradata del composito e nella zona del fuoco. Questo flusso esterno di gas caldi ha un effetto raffreddante per convezione, per cui attenua la conduzione del calore nella zona di reazione. La capacità di raffreddamento dei gas di pirolisi dipende dalla capacità di calore dei gas : più è alta questa capacità maggiore è l'effetto di raffreddamento. In aggiunta quando i gas raggiungono la superficie calda del composito possono formare uno stato termico protettivo (in assenza di processi esterni di convezione come flussi d'aria). I gas possono anche diffondere nel composito vergine sebbene, per la bassa permeabilità dei gas, questo processo è considerato più lento del flusso verso l'esterno. La decomposizione della matrice polimerica e delle fibre organiche continua finché la zona di reazione raggiunge la faccia posteriore del laminato dove l'ultima parte del materiale combustibile si degrada a sostanze volatili e residui carboniosi. A questo stadio il processo di decomposizione finisce a meno che la temperatura non sia alta a sufficienza per indurre reazioni di pirolisi tra le fibre e le sostanze carboniose. Quando la temperatura supera i 1000 °C i prodotti carboniosi possono reagire con la silice contenuta nelle fibre di vetro determinando una notevole perdita di massa. In caso di compositi a fibre di carbonio, le fibre e i prodotti carboniosi possono ossidare quando esposti al fuoco in un ambiente ricco di ossigeno. Il processo che si verifica quando un polimero laminato è esposto a un alto flusso di calore

è schematizzato nella figura che mostra le temperature approssimative alle quali i differenti processi si verificano in un composito polimerico vetroso. Spesso la situazione è più complessa con sandwich in quanto il materiale del cuore ha una larga influenza sulla risposta al fuoco.
L'infiammabilità dei materiali compositi può ridursi rompendo o rallentando le reazioni a catena multipla del ciclo di combustione. I polimeri a ritardanti di fiamma operano rompendo il ciclo in uno dei seguenti modi :

1) modificando il processo di degradazione termico per ridurre la quantità e/o il tipo di gas infiammabile;
2) la generazione di gas decomponibili che spengono le fiamme rimuovendo i radicali;
3) la riduzione della temperatura del materiale modificando la sua conduzione del calore e/o le proprietà del calore specifico.

## 6.9 GLI ISOLANTI TERMICI

Con il temine **isolante termico** si definiscono tutti i materiali che riducono sensibilmente il passaggio di calore da un corpo ad un altro a temperatura inferiore. I materiali con struttura porosa (lane minerali e di legno, polistirene espanso, poliuretani, resine fenoliche, sughero, ecc.) sono particolarmente adatti per il contenimento delle dispersioni per conduzione; mentre quelli con superficie chiara e riflettente sono indicati per ridurre la quantità di energia trasmessa per irraggiamento. E' possibile suddividere gli isolanti in tre raggruppamenti con riferimento alla loro natura e precisamente : minerali, vegetali e sintetici. Nella tabella seguente sono indicati quelli di più comune utilizzo e le relative caratteristiche raggruppati appunto secondo tale criterio.

**Tabella 65 :** ***Caratteristiche dei principali materiali isolanti***

| Raggruppamento | Principali materiali | Massa volumica [kg/m$^3$] | Conduttività media [W/m °C] |
|---|---|---|---|
| Isolanti minerali | Lana di vetro o di roccia | 20 ÷ 300 | 0,041 |
| | Pannelli a base di perlite | 170 ÷ 190 | 0,058 |
| | Vermiculite | 200 ÷ 500 | 0,10 ÷ 0,19 |
| | Vetro cellulare | 120 ÷ 180 | 0,050 ÷ 0,063 |
| Isolanti vegetali | Pannelli isolanti in fibra di legno | 250 ÷ 300 | 0,065 |
| | Paglia compressa | 300 ÷ 400 | 0,12 |
| | Sughero espanso | 100 ÷ 250 | 0,042 ÷ 0,048 |
| Isolanti sintetici | Polistirolo espanso | 9 ÷ 40 | 0,029 ÷ 0,044 |
| | Poliuretano rigido | 30 ÷ 80 | 0,029 ÷ 0,033 |
| | Schiume formo-fenoliche | 30 ÷ 100 | 0,044 |
| | PVC espanso | 25 ÷ 48 | 0,031 ÷ 0,034 |
| | Schiume urea-formaldeide | 9 ÷ 12 | 0,035 |
| | Schiume di poliisocianurati | 38 | 0,027 |

### 6.9.1 Comportamento al fuoco degli isolanti

Il comportamento al fuoco dei materiali isolanti dipende ovviamente dalla loro natura chimica. I materiali inorganici come le argille espanse o i pannelli minerali sono incombustibili e pertanto non presentano alcun problema per la prevenzione incendi. I pannelli di vermiculite e di perlite possono anche diventare combustibili se il loro contenuto di legante organico supera un certo limite, specialmente per la perlite combinata con fibre cellulosiche. Anche le fibre minerali presentano questo problema. Sia per la lana di vetro che per la lana di roccia quando il contenuto di legante supera un certo valore, espresso in questo caso in Kg per m$^3$ di pannello. I materiali più critici da questo punto di vista sono gli espansi plastici, che sono tutti combustibili. Pertanto per essere utilizzati essi devono essere additivati con ritardanti di fiamma ed in questo modo

riescono a piazzarsi nelle migliori classi di reazione al fuoco, sia in Italia che nei principali Paesi europei. Le schiume termoplastiche, come il polistirolo espanso, si ritirano rapidamente quando sono in vicinanza di un fuoco e se sono opportunamente additivate con sostanze antifiamma, si sottraggono alla sorgente d'innesco senza accendersi. Le schiume termoindurenti invece non si ritirano di fronte al calore, perché hanno una struttura tridimensionale reticolata, però i tipi a ritardanti di fiamma presentano un'elevata tendenza a carbonizzare, formando un'intumescenza che in genere riesce a spegnere la fiamma. Fra gli espansi plastici per isolamento termico, quelli di gran lunga più usati sono il polistirene e il poliuretano, a cui seguono le resine fenoliche, il PVC (cadorite), l'ureaformaldeide, il polietilene. Possiamo suddividerli quindi in :

- ✓ *Isolanti minerali* : per loro natura non sono combustibili (classe 0). Ciò nonostante, alcuni manufatti (pannelli rigidi, materassini) non sempre possono essere definiti tali perché ottenuti con l'aggiunta di sostanze combustibili, ad esempio, carta o cartone. Questo inconveniente, pur non alterando sostanzialmente il carico d'incendio (la parte combustibile solitamente è contenuta entro modesti quantitativi), ha conseguenze negative per quanto riguarda la propagazione dell'incendio.
- ✓ *Isolanti vegetali* : sono combustibili e il loro comportamento al fuoco può tuttavia essere sostanzialmente alterato sia in senso positivo sia negativo, per la presenza di sostanze diverse (leganti, ignifuganti).
- ✓ *Isolanti sintetici* : anche questa categoria di isolanti è combustibile; la loro temperatura di accensione è generalmente inferiore a 500 °C. In caso di sinistro, un certo numero di questi prodotti risulta maggiormente pericoloso perché presenta : elevata

velocità di propagazione della fiamma, gocciolamento che può contribuire anche in modo decisivo alla propagazione dell'incendio, emissione di fumi tossici e corrosivi. Gli *espansi* risultano peggiori, in termini di comportamento al fuoco, rispetto alle materie plastiche compatte di pari natura. Frequentemente questi isolanti sono posti in opera con rivestimenti protettivi non combustibili che, se di caratteristiche adeguate, possono ridurne sensibilmente la pericolosità. A questo proposito, però, occorre ricordare che strati protettivi di modesto spessore come, ad esempio, un foglio di alluminio, hanno una effettiva validità solo nella fase iniziale di incendio, mentre nelle fasi successive potrebbero influire negativamente, rendendo meno agevole lo spegnimento del sottostante materiale isolante, qualora questo prendesse fuoco. Di ciò si tiene conto nella determinazione della classe di reazione al fuoco.

Gli isolanti ed i materiali combustibili vengono talvolta ignifugati per migliorarne la reazione al fuoco nella fase iniziale di incendio (l'ignifugazione non rende un materiale incombustibile quando tale non è per sua natura) attraverso tecniche *di superficie*, ad esempio mediante vernici ignifuganti, intumescenti, o *di volume*, aggiungendo agenti ignifuganti nella massa in fase di produzione oppure inglobati a pressione.

#### *6.9.1.1 Polistirene Espanso Sinterizzato*

Il *Polistirene Espanso Sinterizzato* (EPS) è un materiale espanso rigido di peso ridotto a celle chiuse, ottenuto per polimerizzazione dello stirene, monomero additivato con agenti espandenti (pentano) e sostanze che gli conferiscono una buona resistenza al fuoco (classe 1). La *conduttività termica* è la principale caratteristica dell'EPS ed è favorita dal fatto che

esso è costituito da aria per il 98%; quest'aria è rinchiusa in celle tanto piccole da impedirne i moti convettivi pertanto la trasmissione del calore può avvenire solo per conduzione, molto bassa nell' aria e per irraggiamento, la quale si riduce rapidamente al moltiplicarsi degli schermi composti dalle pareti delle celle. L'aria interna restando in equilibrio con quella esterna, rende stabile la conducibilità termica nel tempo. Per quanto concerne il comportamento al fuoco l' EPS è di sua natura un materiale combustibile infatti la reazione al fuoco dell'EPS è in relazione, da una parte, con la sua natura chimica di idrocarburo, dall'altra con la sua particolare struttura fisica di termoplastico cellulare. Dal primo punto di vista, essendo composto esclusivamente di carbonio e idrogeno, l'EPS è un materiale che brucia completamente e i prodotti della sua combustione completa sono soltanto anidride carbonica e acqua. L'innesco della combustione presuppone la formazione, per effetto di calore esterno, dei prodotti gassosi di decomposizione dell'EPS, che ha inizio intorno ai 230-260°C con emissione di vapori infiammabili ma, in assenza di sorgenti esterne, soltanto fra 450 e 500 °C si ha la loro accensione spontanea, richiedendosi quindi una certa quantità di energia per l'accensione e in pratica per esempio scintille elettrostatiche non bastano per avviare la combustione. La particolare struttura termoplastica cellulare fa poi si che l'espanso, sotto l'azione del calore, tende a contrarsi per collasso delle cellule e quindi ad allontanarsi dalla sorgente di calore, molto prima che cominci la decomposizione; anche questo contribuisce a ritardare l'accensione. La successiva propagazione della fiamma avviene spontaneamente nell' *EPS normale* (classe 5), se vi è sufficiente apporto di ossigeno ed infatti le basse densità bruciano più velocemente a causa della alta quantità di aria contenuta in esso, mentre nell' *EPS/RF a migliorato comportamento al fuoco* (classe 1), ottenuto con opportuni additivi, che creano una contrazione del volume quando il

materiale va a contatto con la fiamma e ritardano la diffusione delle fiamme, la propagazione cessa al venir meno della causa di innesco ossia eliminata la fiamma. Con una fiamma a temperatura crescente l'EPS inizia a collassare ed in seguito a sciogliersi, quindi a bruciare. Un pannello in EPS inizia ad ammorbidirsi ed a diventare viscoso quando si raggiungono i 100°C, con temperature decisamente superiori inizia a fondersi fino a produrre gas quando si arriva ad una temperatura di circa 350°C. Raggiunti i 450-500°C, escludendo un'esposizione diretta alla fiamma, inizia a decomporsi. Fino a queste temperature l' elemento in polistirolo, polistirene espanso non è quindi autocombustibile. Se esponiamo l'EPS a una piccola fiamma, questo si scioglie senza prendere fuoco; la fiamma può innescarsi solo dopo un lungo tempo di esposizione al fuoco stesso; se arrestiamo l'esposizione alla fiamma, si arresta anche il fuoco innescato. Solo in combinazione con sostanze combustibili alta infiammabilità, anche l' elemento in polistirolo, polistirene espanso AE protetto può bruciare. Quando il polistirene brucia con una fiamma stabile e un buon supporto di ossigeno, i principali *prodotti della combustione* sono diossido di carbonio, monossido di carbonio (la cui presenza ed il relativo esaurimento dell'ossigeno rende più pericoloso l'ambiente), acqua e particelle, ma non produce diossina che quindi non si ritrova nei fumi prodotti durante un incendio. Se la fiamma non è ben stabilizzata si avrà una minore combustione che genera del "fumo bianco". Ciò è dovuto alla formazione di goccioline per la condensa di prodotti non completamente bruciati. Di maggiore interesse, è la tossicità dei gas prodotti, infatti paragonati ai soliti materiali da costruzione (sughero, cotone, lana, compensato, etc.), in caso di incendio l'EPS presenta dei rischi di tossicità minori. Come molte sostanze organiche, anche l'EPS, sigla identificativa del polistirolo, polistirene espanso, è da considerarsi come materiale infiammabile. Se durante la produzione viene impiegata materia prima

AE ovvero viene utilizzato un ritardante di fiamma, l'EPS è classificato in EUROCLASSE E secondo le Norme Armonizzate Europee.

**Tabella 66 : *Comportamento dell'EPS***

| PROPRIETA' | VALORE |
|---|---|
| Temperatura di decomposizione | 300-400° C primi segni di cedimento |
| Temperatura di innesco della fiamma | 360-370° C (DIN 54836) 345-360° C (ASTM D1929) |
| Temperatura di auto accensione | 450-500° C 490° C (ASTM D1929) |
| Temperatura di autoaccensione dello stirene | 490° C |

### *6.9.1.2 Poliuretano*

Con il termine poliuretano si intende una vasta famiglia di polimeri termoindurenti in cui la catena polimerica è costituita da legami uretanici, ottenuti fondamentalmente per reazione di un di-isocianato e di un poliolo cui vengono aggiunti dei catalizzatori per migliorare il rendimento della reazione e altri additivi che conferiscono determinate caratteristiche al materiale da ottenere. E' un prodotto organico e come tutti i materiali di questa natura in caso di incendio partecipa alla combustione e sottoposto a fiamme libere può, più o meno, facilmente incendiarsi, pertanto all'interno del sistema delle euroclassi, il suo posizionamento può variare tra la classe B e la F. In caso di incendio i fumi che si sviluppano durante la combustione, sono simili, per composizione e tossicità, a quelli di altri materiali organici come monossido di carbonio, anidride carbonica, ossidi d'azoto, acido cianidrico, idrocarburi gassosi e prodotti organici di pirolisi.

### *6.9.1.3 Lana di roccia*

La lana di roccia è un materiale costituito da una matrice minerale di fibre inorganiche con punto di fusione superiore a 1000 °C, a composizione basaltica e sottoposta a un incremento artificiale di ossidi allo scopo di elevarne la stabilità ad alta temperatura, legata mediante resine fenoliche.

Questo materiale presenta ottime proprietà d' isolamento termico, grazie alle numerosissime cavità nelle quali è trattenuta aria senza possibilità di movimento. Il calore specifico della lana minerale è pari a circa 800J/kgK. Si presta particolarmente al riempimento di intercapedini, conferendo più elevate prestazioni di resistenza al fuoco in virtù del suo potere termoisolante. Da tenere presente, però che le lane minerali si decompongono alla temperatura di 1110 °C, pertanto temperature elevate raggiunte in tempi brevi (ad ex curva idrocarburi), possono portare alla distruzione rapida dello strato isolante, con gravi conseguenze a carico degli elementi protetti. Rappresenta l'unico materiale che riesce a coniugare in sé quattro doti fondamentali: protezione al fuoco, incombustibilità, isolamento termico, fono- assorbimento.

#### *6.9.1.4 Lana di vetro*

La lana di vetro, invece, non viene generalmente impiegata in ambienti a rischio incendio perché a 500 °C subisce una distruzione pressoché totale; potrebbe trovare applicazione in ambienti di grande volume, dove si può immaginare che la temperatura durante l'incendio non raggiunga livelli elevati.

## 6.10 ANALISI RIFORNIMENTI E LUBRIFICANTI USATI DA CTP

Nella seguente tabella si riporta l'elenco dei fluidi utilizzati nell' autobus 591.10.29 in esame e si evidenziano non solo i fluidi presenti nel vano motore come olio motore, olio per le trasmissioni idrostatiche, olio cambio, sui quali è naturale porre l'attenzione visto che una delle cause più frequenti di incendio risulta essere la perdita di oli e di carburante, ma bisogna anche considerare quelli presenti nel resto dell' autobus al fine di uno studio approfondito dell'evoluzione delle fiamme.

**Tabella 67 :** ***Rifornimenti e lubrificanti usati in CTP***

| Denominazione Rifornimenti e Lubrificanti | Litri | Lubrificanti (consigliati da Iveco prodotti FL) |
|---|---|---|
| Serbatoio combustibile | 300 | Gasolio a norma EN 590 |
| Olio coppa motore + filtri<br>Coppa motore<br>Rabbocco olio motore<br>Specifica API CF SAE15W40 | 25,5<br>21,5<br>≈25 | Urania LD7 |
| Olio scatola cambio Voith 854.3<br>ZF 5HP 502C<br>A.T.F.DEXRON III –ZF TE-MIL. 09A e 14C | 26<br>17 | Tutela ATF 90 |
| Liquido raffreddamento<br>CUNA NC 956-16 IVECO STANDARD 18-1830 FIAT 9.55523 | 60 | Acqua + Paraflu |
| Olio idroguida<br>A.T.F.DEXRON II D | 6,5 | Tutela GI/A |
| Olio comando ventilatore | 10 | Tutela GI/A |
| Olio per differenziale<br>Specifica MIL-L-2105 D-API GL 5<br>SAE80W90 SAE80W140<br>Mozzo anteriore (ciascuno) | 25<br><br><br>0,35 | Tutela W140/M-DA(climi caldi)<br>Tutela W90/M-DA(climi freddi) |
| Fluido freni idraulici e frizione<br>NORME N.H.T.S.A. n. 116-DOT4 ISO 4925-Std. SAE J 1703 CUNA NC 956-01 IVECO STANDARD 18-1820 | | Tutela TRUCK DOT SPECIAL |
| Serbatoio liquido tergicristallo<br>CUNA NC 956-11 | 7 | DPI |
| Grasso per ingrassaggio generale<br>A base di saponi di litio, consistenza N.L.G.I n. 2 | | Tutela MR 2 |
| Grasso specifico per cuscinetti<br>A base di saponi di litio, consistenza N.L.G.I n. 3 | | Tutela MR 3 |
| Grasso impianto lubrificazione centralizzata a base di saponi di litio con base sintetica N.L.G.I n.2 | | Tutela COMAR 2 |

| | | |
|---|---|---|
| Lubrificante guarnizioni porte<br>N.L.G.I n.2 | | Tutela SILICON DE |
| Lubrificante guide rampe salita<br>Antiossidante a bassa tensione superficiale con proprietà idrofughe, sbloccanti, lubrificanti e protettive | | 6 in 1 |

### 6.10.1 Olio motore : URANIA LD7

Olio Motore a base minerale per veicoli industriali e commerciali con motori diesel turbo ed aspirati. Sviluppato da FL {45}, in collaborazione con i principali Costruttori, per rispondere alle necessità dei nuovi motori a normative Euro 4 ed Euro 5 con sistemi SCR ed EGR i cui componenti significativi sono oli minerali paraffinici severamente raffinati, con ingredienti solfanati di metalli alcalino terrosi, polisuccinimmidi, antiossidanti e polimeri e componenti pericolosi zinco alchiliditiofosfati.
URANIA LD7 supera tutte le prestazioni degli altri prodotti minerali della linea Urania e consente le massime prestazioni su ogni veicolo, sia quelli equipaggiati con sistemi SCR o EGR per superamento specifiche Euro 4 e 5, sia rispondenti a normative Euro precedenti. Più in dettaglio Urania LD 7 assicura :

- ✓ la rispondenza alle massime specifiche internazionali sia europee che americane previste per i lubrificanti minerali, unita al superamento delle specifiche classiche. Ne viene così consentito l'utilizzo con i migliori risultati su tutti i tipi di veicolo;
- ✓ la conformità a tutte le normative ecologiche Euro, che impongono particolari cicli di funzionamento dei veicoli;
- ✓ una vita utile del lubrificante che, sui motori delle ultime generazioni, raggiunge i 100.000 km in condizioni di uso normali;

- ✓ una superiore resistenza al taglio meccanico ed alla formazione di residui acidi, unita alla massima protezione delle bronzine, ed all'estensione delle caratteristiche di disperdenza di carbone e morchie.
- ✓ consumi di olio minimi anche in presenza di lunghissimi intervalli di sostituzione.

Superando ampiamente le esigenze tecnologiche e qualitative di tutti i Costruttori di veicoli industriali Urania LD7 può essere utilizzato per tutte le tipologie di motori diesel, turbo-compressi ed aspirati, di ogni tipo, marca e potenza. Le principali caratteristiche chimico-fisiche che possono essere desunte dalla scheda tecnica fornita dal produttore PETRONAS LUBRICANTS ITALY S.P.A.(già SELENIA FL S.P.A.), sono riassunte nella tabella che segue tenendo presente però che i dati menzionati non costituiscono specifica e sono soggetti a normali tolleranze di produzione :

**Tabella 68 : *URANIA LD7***

| PROPRIETA' | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | LIQUIDO VISCOSO LIMPIDO |
| DENSITA' A 15°C | ASTM D 4052 | 0,885 g/cm$^3$ |
| VISCOSITA' A 100 °C | ASTM D 445 | 14,3 cSt |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA' | ASTM D 92 | > 210 °C |
| SOLUBILITA' IN ACQUA | | INSOLUBILE |
| PUNTO INIZIALE DI EBOLLIZIONE | ASTM D 1120 | > 300 °C |
| T.B.N. | ASTM D 2896 | 11,2 mg KOH/g |
| PUNTO DI SCORRIMENTO | ASTM D 97 | < -27 ° C |
| SCHIUME A 24°C | ASTM D 892 | TRACCE / 0 |

Dalla scheda di sicurezza invece si desume che il prodotto non presenta pericoli né per l'uomo né per l'ambiente, non è classificato come pericoloso ai sensi della normativa vigente ma non essendo

biodegradabile e poiché tende a non evaporare, in caso di dispersione accidentale costituisce fonte di inquinamento del suolo e delle falde acquifere per cui bisogna evitare che defluisca nel suolo o nelle fognature arginando e contenendo gli spandimenti.
Il prodotto non presenta particolari rischi di incendio ma nel caso si consiglia l'utilizzo di estintori o di altri sistemi di spegnimento per incendi di classe B quali schiuma, anidride carbonica, polvere chimica secca, acqua nebulizzata, sabbia, terra, evitando l'uso di getti d'acqua utili solo per raffreddare le superfici esposte al fuoco. Poiché in seguito ad incendio si possono formare come prodotti di combustione dei composti dannosi quali ossidi di carbonio, composti di zolfo, di fosforo, di azoto, idrocarburi incombusti e altri derivati bisogna evitare di respirare i fumi di combustione utilizzando speciali equipaggiamenti protettivi antincendio come vestiario protettivo completo di apparecchio di auto respirazione.

### 6.10.2 Olio cambio : TUTELA TRUCK ATF 90

Si tratta di un lubrificante interamente sintetico per trasmissioni automatiche e impianti idraulici operanti in condizioni severe, i cui componenti significativi sono oli minerali paraffinici e sintetici severamente raffinati additivati con zolfo, azoto, fosforo, antiossidanti e polimeri e componenti pericolosi alchilammina alcossilata a catena lunga e metacrilato copolimero. Le caratteristiche principali del prodotto sono:

- ✓ innovativa additivazione ATF, per esaltare le caratteristiche visco simmetriche del prodotto sia a caldo che a freddo;
- ✓ ottime caratteristiche detergenti, per garantire la perfetta pulizia delle parti meccaniche;

- ✓ eccellenti proprietà di dissipazione calore, per eliminare il calore che si sviluppa all'interno del gruppo trasmissione;
- ✓ formulazione fully synthetic, per garantire eccellenti caratteristiche di resistenza termico-ossidativa consentendo il prolungamento dell'intervallo di cambio.

Dalla scheda di sicurezza {45} inoltre si desumono le stesse considerazioni viste per l'URANIA LD7 nei riguardi della pericolosità per l'uomo e l'ambiente. Il prodotto si presenta stabile alla luce e al calore nelle normali condizioni di utilizzo ma, va tenuto lontano da fonti di calore e in ogni caso si consiglia di non superare il punto d'infiammabilità. Anche questo prodotto inoltre non presenta particolari rischi di incendio ma nel caso si consigliano dispositivi di spegnimento per incendi di classe B evitando l'utilizzo di getti. I prodotti della combustione sono: ossido di carbonio, composti di zolfo, di fosforo, di azoto, idrocarburi incombusti ed altri derivati per cui è da evitare l'inalazione dei fumi della combustione. Anche in questo caso le principali caratteristiche chimico-fisiche che possono essere desunte dalla scheda tecnica fornita dal produttore sono riassunte nella tabella che segue :

**Tabella 69 :** ***TUTELA ATF 90***

| PROPRIETA' | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | LIQUIDO VISCOSO DI COLORE ROSSO |
| DENSITA' A 15°C | ASTM D 4052 | 0,840 g/cm$^3$ |
| VISCOSITA' A 100 °C | ASTM D 445 | 7,5 cSt |
| VISCOSITA' A -40 °C | ASTM D 2983 | 7000 cPs |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA' | ASTM D 92 | 210 °C |
| SOLUBILITA' IN ACQUA | | INSOLUBILE |
| PUNTO INIZIALE DI EBOLLIZIONE | ASTM D 1120 | > 300 °C |

### 6.10.3 Olio idroguida e trasmissioni idrostatiche TUTELA GI/A

E' un olio per idroguide, cambi automatici e servosterzi di vetture, veicoli commerciali o industriali e per impianti ventilatori idrostatici i cui componenti significativi sono oli minerali paraffinici severamente raffinati, additivati con zolfo, azoto, fosforo, antiossidanti e polimeri e componenti pericolosi alchilammina alcossilata a catena lunga e metacrilato copolimero. che presenta :

- ✓ Ottima scorrevolezza a freddo per diminuire l'assorbimento di potenza e migliorare la resa della trasmissione.
- ✓ Ottima proprietà anti-schiuma per garantire la massima continuità di lubrificazione ed il migliore asporto di calore.
- ✓ Ottime caratteristiche anti-ossidanti per una maggiore durata del lubrificante.
- ✓ Elevato indice di viscosità per ottimizzare la risposta dei servocomandi in ogni condizione di temperatura operativa.
- ✓ Elevata proprietà anti-usura per una maggiore durata dei componenti meccanici.

Poiché supera le severe Specifiche di Qualità dei Maggiori Costruttori Europei l'olio TUTELA GI/A può essere usato per macchinari di ogni marca, tipo e potenza; è disponibile nella gradazione SAE 10W per l'utilizzo in ogni stagione dell'anno. La sostituzione per Trattori, Macchine Moviterra e Agricole secondo le indicazioni del Costruttore e comunque non oltre le 800 ore di lavoro, per Veicoli Industriali secondo le indicazioni del Costruttore e comunque almeno una volta all'anno, per autovetture ogni 40.000 km.

Le principali caratteristiche chimico-fisiche che possono essere desunte dalla scheda tecnica fornita dal produttore, sono riassunte nella tabella che segue :

**Tabella 70 : *Tutela GI/A***

| PROPRIETA' | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | LIQUIDO VISCOSO DI COLORE ROSSO |
| DENSITA' A 15°C | ASTM D 4052 | 0,870 $g/cm^3$ |
| VISCOSITA' A 40 °C | ASTM D 445 | 35,5 cSt |
| VISCOSITA' A 100 °C | ASTM D 445 | 7,5 cSt |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA' | ASTM D 92 | 200 °C |
| PUNTO INIZIALE DI EBOLLIZIONE | ASTM D 1120 | > 300 °C |
| PUNTO DI SCORRIMENTO | ASTM D 97 | -40 ° C |
| SOLUBILITA' IN ACQUA | | INSOLUBILE |

Il prodotto presenta le stesse misure precauzionali in caso di dispersione accidentale, stesse misure antincendio, stabilità e reattività e prodotti di decomposizione pericolosi visti per i precedenti fluidi {45}.

### 6.10.4 Gasolio

Combinazione complessa di idrocarburi è una frazione del petrolio greggio compresa fra il cherosene e gli oli lubrificanti prodotta per distillazione dell'olio greggio (gasolio di prima distillazione) o da residui pesanti per piroscissione termica o termocatalitica e in alcuni casi anche con processi di sintesi (idrogenazione del carbone o di residui petroliferi pesanti). Costituito da idrocarburi con numero di atomi di carbonio prevalentemente nell' intervallo C9 - C20 e punto di ebollizione nell'intervallo 163°C – 357°C circa, nella composizione chimica del prodotto finito a seconda della provenienza e delle caratteristiche dei componenti possono essere identificati in quantità variabili e non

prevedibili Trimetilbenzeni, Alchilbenzeni, Naftalene e altri; invece il contenuto di zolfo si è andato riducendo nel tempo fino all'attuale 0,005 % {46 e 47}. Un tempo il gasolio veniva utilizzato principalmente per la produzione di gas, donde il nome, oggi viene impiegato soprattutto come combustibile da riscaldamento e per alimentare i motori Diesel; questi funzionano con un elevato rapporto di compressione (13-23) per cui l'accensione del combustibile avviene sfruttando il calore di compressione dell' aria che aspirata e compressa nei cilindri fino a 30-40 atmosfere raggiunge elevate temperature (500-600 °C), dopodiché un po' prima della fine della fase di compressione viene iniettato il combustibile liquido finemente polverizzato in un ambiente tale da permettere l'ignizione spontanea e a contatto con l'aria calda evapora e brucia sviluppando l'energia necessaria per il funzionamento del motore con una combustione che risulta rapida e violenta. Per questo motivo il gasolio deve avere proprietà opposte alla benzina, con tendenza all' accensione spontanea che deve avvenire entro il minor tempo possibile dall'inizio dell' iniezione, un tempo di incubazione o ritardo accensione piuttosto basso in modo che sia minima la quantità di combustibile presente in camera di combustione quando l'accensione ha inizio in modo che la combustione si svolga più gradualmente senza forti gradienti di pressione. Un indice del ritardo all'accensione e quindi della maggior o minore facilità di accensione è il Numero di Cetano (NC) che rappresenta la percentuale in volume di cetano (normal esadecano $C_{16}H_{36}$) presente in una miscela di cetano (con NC pari a 100 perché facilmente accendibile) e di α metilnaftalina (con NC pari a zero) e successivamente sostituito dall' eptametilnonano o isocetano (con NC pari a 15) che possiede le stesse caratteristiche di ignizione dell'olio in esame, determinato con un motore da ricerca a rapporto di compressione variabile (CFR). I combustibili con alto NC (oltre 48) hanno quindi

elevata accendibilità e ridotto ritardo all' accensione e vengono usati per i cosiddetti Diesel veloci usati su autoveicoli viceversa, nei Diesel "lenti", come quelli utilizzati sui mezzi pesanti, i tempi più lunghi disponibili per la combustione consentono l'impiego di carburanti con peggiori caratteristiche di accendibilità, cioè con NC più bassi. Oggi è richiesto nei normali gasoli per autotrazione un NC pari a 51, anche se sul mercato sono disponibili gasoli con NC compreso fra 53 – 57 che consente accensione più rapida, combustione più completa, migliori prestazioni e riduzione di emissioni sia in termini di particolato che ossidi di azoto. E' in carburante da considerare come sicuro essendo meno infiammabile della benzina e quindi è meno pericoloso, tanto che per detonare deve raggiungere alte temperature (600°C – 800°C). Per definire meglio la pericolosità del gasolio consideriamo cosa accade quando viene riscaldato, tenendo presente che alle temperature e pressioni ordinarie ha una tensione di vapore tale da non portare alla formazione di miscele di vapore-aria comprese entro i limiti di infiammabilità. Se allora avviciniamo alla superficie libera del gasolio contenuto in un recipiente, per un tempo brevissimo, una fonte di ignizione (fiamma pilota o scintillatore elettrico ad esempio), si può accertare che non succede nulla poiché alle temperature ordinarie la percentuale di vapori di gasolio contenuta nello strato d'aria sovrastante il liquido è inferiore a quella cui corrisponde il limite di infiammabilità del prodotto. Se scaldiamo ulteriormente il liquido gradualmente avvicinando alla superficie libera una fonte di accensione ad intervalli regolari e ravvicinati, raggiunta una certa temperatura, detta punto di lampeggiamento del gasolio, si verifica un improvviso bagliore o lampo che si esaurisce repentinamente senza che di seguito sopravvenga l'incendio del prodotto. Proseguendo nel riscaldamento i lampi si susseguiranno ad intervalli di tempo sempre più ravvicinati che, raggiunta la temperatura di infiammabilità, si

raccorderanno l'un l'altro dando origine alla accensione del liquido. Questo è una tipica descrizione del fenomeno per tutti i liquidi combustibili che, a temperatura e pressione ordinaria, non rilasciano vapori sufficienti per formare con l'aria ambiente miscele suscettibili di incendio. Per questa categoria di liquidi altro parametro importante può considerarsi la temperatura di autoaccensione cioè la temperatura alla quale i vapori di tali liquidi si accendono spontaneamente per effetto della elevata temperatura posseduta dal liquido di provenienza senza l'apporto di una fonte di accensione apposita. Le principali caratteristiche chimico – fisiche risultano dalla tabella successiva :

**Tabella 71 :** ***Gasolio***

| PROPRIETA' | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | | LIQUIDO LIMPIDO |
| COLORE | | INCOLORE per autotrazione, ROSSO per riscaldamento, VERDE agricoltura e pesca |
| DENSITA' A 15°C | EN ISO 3679 : 1998, EN ISO 2185 : 1996/C1 : 2001 | 820 ÷ 845 kg / m $^3$ |
| NUMERO DI CETANO | EN ISO 5165 : 1998 | 51 |
| INDICE DI CETANO | EN ISO 4264 : 1996 | 46 |
| VISCOSITA' A 40 °C | EN ISO 3104 : 1996 | 2 ÷ 4,50 |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA' | EN ISO 2719 : 2002 | > 55 °C |
| TEMPERATURA D'ACCENSIONE | | >220 °C |
| POTERE LUBRIFICANTE | EN ISO 12156 –1 : 2000 | 460 mm |
| SOLUBILITA' IN ACQUA | | INSOLUBILE |
| STABILITA' ALL' OSSIDAZIONE | EN ISO 12205 : 1996 | 25 g / m $^3$ |
| DISTILLAZIONE :<br>RECUPERATO A 150 °C<br>RECUPERATO A 250 °C<br>RECUPERATO A 350 °C<br>PUNTO DEL 95 % RECUPERATO | | <br>2 % (v/v)<br>< 65 %<br>85 %<br>360 ° C |
| TEMPERATIRA LIMITE DI | EN 116 : 1997 | 0 °C ESTIVO |

| | | |
|---|---|---|
| FILTRABILITA'  ( CFPP ) | | -10 ° C INVERNALE |
| ZOLFO TOTALE | EN ISO 20884 : 2004<br>EN ISO 20846 : 2004 | 10 mg / kg |
| LIMITI DI ESPLOSIVITA' | | INFERIORE 1 % VOL, SUPERIORE 6 % VOL |

La specifica di riferimento che armonizza in tutta Europa le specifiche nazionali del gasolio per autotrazione è la EN 590, recepita in Italia come UNI EN 590, mentre la Direttiva 2003/17/CE definisce le caratteristiche di impatto ambientale. Il prodotto nelle previste condizioni di impiego con le necessarie precauzioni d' uso non presenta rischi particolari per gli utilizzatori, ma in base alla normativa vigente è classificato come prodotto pericoloso, il rischio maggiore è quello di incendio associato alla sua alta combustibilità, se riscaldato emette vapori che formano con l'aria miscele infiammabili ed esplosive, inoltre i vapori  più pesanti dell' aria possono accumularsi in locali confinanti o in depressioni propagandosi a quota suolo creando rischi anche a distanza. In alcune circostanze il prodotto può accumulare cariche elettrostatiche in notevole quantità con rischio di scariche che possono innescare incendi o esplosioni. Date le caratteristiche dei componenti, i costituenti più volatili del prodotto tendono ad evaporare e disperdersi in  aria contribuendo alla formazione di smog fotochimico, la parte rimanente ha bassa biodegradabilità; alcuni composti chimici potenzialmente presenti risultano dannosi per le specie acquatiche, per cui bisogna evitare che il prodotto defluisca in corsi d'acqua o fognature e in caso di dispersione sul suolo bisogna contenere il prodotto con mezzi assorbenti.  In caso di incendio i mezzi di estinzione più appropriati risultano polvere chimica, anidride carbonica e schiuma, è da evitare invece l' impiego  di acqua a getto pieno sul prodotto in fiamme mentre il getto frazionato è riservato a personale appositamente addestrato, utile invece a raffreddare le superfici e

contenitori esposti al fuoco; evitare schizzi accidentali di prodotto su superfici metalliche calde o su contatti elettrici e in caso di fughe di prodotto con formazione di schizzi finemente polverizzati bisogna tenere presente che il limite inferiore d' infiammabilità è di circa 1% vol.; è consigliabile per gli addetti antincendio l'uso di un equipaggiamento speciale costituito da autorespiratori al fine di evitare di respirare i prodotti pericolosi della combustione come $CO_X$, HC, $SO_X$.

### 6.10.5 Altri fluidi presenti

#### *6.10.5.1 TUTELA W 140/M – DA*

Olio lubrificante per differenziali normali e autobloccanti, indicato per ingranaggi ipoidi e scatole guida in cui siano richieste proprietà di Estrema Pressione (E.P.) avente come componenti significativi minerali paraffinici severamente raffinati e additivi contenenti zolfo, azoto, fosforo, antiossidanti e polimeri componenti pericolosi alchilfosfonato, alchenilammina a catena lunga, alchilditiotiadiazolo a catena lunga avente le seguenti proprietà fisico- chimiche riassunte in tabella :

**Tabella 72 : *TUTELA W 140/M - DA***

| PROPRIETA' | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | LIQUIDO VISCOSO |
| DENSITA' A 15°C | ASTM D 4052 | 0,912 $g/cm^3$ |
| VISCOSITA' A 100 °C | ASTM D 445 | 25,5 cSt |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA' | ASTM D 92 | 220 °C |
| PUNTO INIZIALE DI EBOLLIZIONE | ASTM D 1120 | > 300 °C |
| PUNTO DI SCORRIMENTO | ASTM D 97 | -13 ° C |
| SOLUBILITA' IN ACQUA | | INSOLUBILE |

Questo prodotto presenta {45} : elevato indice di viscosità per ottimizzare la scorrevolezza in ogni condizione di temperatura operativa,

elevate caratteristiche anti-schiuma e demulsive per garantire la massima continuità di lubrificazione e il migliore asporto di calore, ottime caratteristiche anti-usura per una maggiore durata dei componenti della trasmissione, ottime caratteristiche E.P. per garantire una ottimale protezione anche in condizione di lubrificazione limite e di elevato carico a basso numero di giri. Ai fini della sicurezza antincendio valgono le stesse considerazioni viste per i precedenti fluidi mostrando comportamento analogo all' ATF 90.

### *6.10.5.2 TUTELA TRUCK DOT SPECIAL*

Fluido freni a base di glicol eteri ed esteri borici ad elevato punto di ebollizione per impegni gravosi, con ammine e additivi stabilizzanti e componenti pericolosi dietilen glicole, butilpoliglicole con le seguenti caratteristiche chimico-fisiche riassunte in tabella:

**Tabella 73 : *TUTELA TRUCK DOT SPECIAL***

| PROPRIETA' | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | LIMPIDO |
| COLORE | VISIVO | da GIALLO ad AMBRA |
| DENSITA' A 15°C | ASTM D 1298 | 1,065 g/cm$^3$ |
| VISCOSITA' A 100 °C | ASTM D 445 | 2 cSt |
| VISCOSITA' A -40 °C | ASTM D 445 | 1300 cSt |
| PUNTO DI EBOLLIZIONE A SECCO | ISO 4925 | 265 °C |
| PUNTO DI EBOLLIZIONE UMIDO | ISO 4925 | 173 ° C |
| COMPATIBILITA' GOMMA SBR | ISO 4925 | SUPERA |
| COMPATIBILITA' GOMMA EPDM | SAE J1703 | SUPERA |
| COMPATIBILITA' GOMMA NATURALE | ISO 4925 | SUPERA |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA' | ASTM D 93 | >120°C |
| SOLUBILITA' IN ACQUA | ASTM E 659 | SOLUBILE E IGROSCOPICO |
| TEMPERATURA DI AUTOIGNIZIONE | | 430 °C |

Questo prodotto presenta {45}: un elevato punto di ebollizione a secco per evitare il fenomeno del vapour lock (frenata lunga per presenza di bolle di vapore nel circuito freni, elevato potere lubrificante per garantire il funzionamento ottimale dei componenti idraulici dell'impianto frenante, basso punto di scorrimento per una pronta risposta dei comandi idraulici di freni e frizione anche alle basse temperature ambientali, ottime proprietà anticorrosione, ruggine ed ossidazione per la protezione dei componenti metallici costituenti il circuito di frenatura, totale compatibilità con gomme e guarnizioni per evitare rigonfiamenti e infragilimenti dei manicotti in gomma o plastica e delle tenute, elevata stabilità chimica per garantire l'inalterabilità nelle condizioni più severe di sollecitazione termica. Il prodotto è biodegradabile al 90% (15 giorni), completamente solubile, tende a non evaporare, penetra facilmente nel terreno, è buona norma evitare dispersioni nel terreno in quanto grosse quantità potrebbero comunque costituire fonte di inquinamento del suolo. Valgono analoghe considerazioni precedenti per le misure antincendio, i rischi da esposizione e i prodotti della combustione.

#### *6.10.5.3 PARAFLU 11*

Fluido protettivo per radiatori, concentrato, a base di glicole etilenico con additivi inibitori di corrosione e con componenti pericolosi costituiti da etilen glicole, sodio nitrito e sodio benzoato, che miscelato al 50% con acqua garantisce {45} :

- ✓ un ottimale asportazione del calore dalla camera di combustione del motore;
- ✓ la massima protezione contro: l' azione del gelo (temperatura ambientale esterna fino a –40 °C), la formazione di calcare, l'ebollizione nei periodi caldi (temperatura del circuito fino a +110 °C), la corrosione di tutti i materiali metallici che costituiscono il

circuito di raffreddamento (ghisa, alluminio, rame), gli eccessivi rigonfiamenti delle gomme e delle plastiche del circuito.

Il prodotto non deve essere usato concentrato, né miscelato con prodotti di origine o marca diversa, la sostituzione deve avvenire ogni 60000 km o comunque entro due anni, i rabbocchi per ripristinare il livello del fluido devono essere effettuati miscelando il prodotto al 50% con acqua.

Le principali proprietà chimico-fisiche sono riassunte nella tabella :

**Tabella 74 : *PARAFLU 11***

| PROPRIETA' | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | Liquido LIMPIDO VERDE-BLU |
| DENSITA' A 15°C | ASTM D 5931 | 1,135 g/cm$^3$ |
| PH (dil. al 50 %) | ASTM D 1287 | 7,7 |
| PUNTO DI EBOLLIZIONE (dil. al 50 %) | ASTM D 1120 | 108 °C |
| PUNTO DI CRISTALLIZZAZIONE (dil. al 50 %) | ASTM D 1177 | -38 ° C |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA' | ASTM D 92 | 120°C |
| TEMPERATURA DI AUTOIGNIZIONE (dil. al 50 %) | ASTM E 659 | 490 °C |
| SOLUBILITA' IN ACQUA | | COMPLETAMENTE SOLUBILE |
| CORROSIONE IN VETRO | ASTM D 1384 | SUPERA |
| SCHIUMA A 88 °C | ASTM D 1881 | 50 cc |

Il prodotto è biodegradabile ma sono da evitare comunque dispersioni, potendo in grosse quantità essere potenziale fonte di inquinamento del suolo e delle falde acquifere; stabile nelle normali condizioni di utilizzo ma deve essere mantenuto lontano da fonti di calore e non superare il punto di infiammabilità, potendo provocare l'accensione di materiale combustibile; non presenta particolari rischi da incendio e nel caso richiede estintori per incendi di classe B; sono da evitare le inalazioni dei

fumi di combustione che contengono ossidi di carbonio, composti di azoto, idrocarburi incombusti e altri derivati dannosi.

### *6.10.5.4 Tutela MR2 e MR3*

Grassi lubrificanti speciali multiuso con componenti significativi saponi di acidi grassi al litio, cloro paraffine e oli minerali severamente raffinati e additivi contenenti solfonati di calcio, antiossidanti e polimeri, indicati per ingrassaggi di cuscinetti mozzi ruote nonché ingrassaggio generale che consentono {45} :

- ✓ eccellente stabilità meccanica per ridurre al minimo la fluidificazione e la conseguente fuoriuscita di olio;
- ✓ alta resistenza all' ossidazione per una maggiore durata del grasso;
- ✓ alta resistenza all' acqua per una migliore tenuta all'azione dilavante dell' acqua;
- ✓ elevata stabilità termica per l'utilizzo con temperature da –20 °C a120 °C per l' MR3 e –30 °C a 110 °C per l' MR2.

I prodotti non sono facilmente biodegradabili, tendono a non evaporare, mostrando bassa mobilità al suolo, vengono parzialmente assorbiti dal terreno, insolubili in acqua galleggiano sulle superfici acquose, costituiscono potenziale fonte di inquinamento dei corsi e falde d'acqua e del suolo.

Per le misure antincendio, mezzi antincendio, rischi particolari di esposizione, prodotti di combustione, stabilità e reattività valgono le stesse considerazioni viste per gli altri oli Tutela.

Le principali proprietà fisico-chimiche risultano:

**Tabella 75 : *TUTELA MR2 e MR3***

| PROPRIETA’ | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | POMATOSO FILANTE DI COLORE VERDE |
| PESO SPECIFICO A 15°C | | 0,9 g/cm$^3$ |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA’ | ASTM D 92 | > 200 °C su olio base |
| PUNTO DI GOCCIOLAMENTO MR2 | ASTM D 566 | 195 °C |
| PUNTO DI GOCCIOLAMENTO MR3 | ASTM D 566 | 198 °C |
| SOLUBILITA’ IN ACQUA | | INSOLUBILE |

### *6.10.5.5 Tutela COMAR 2*

Grasso lubrificante sintetico espressamente studiato per gli impianti di lubrificazione generale centralizzata ad erogazione automatica, con componenti significativi oli paraffinici sintetici e saponi di acidi grassi al litio e componenti pericolosi 2-etilesil-zincoditiofosfato ed estere alchilcarbossilico, che assicura {45} :

- ✓ elevata adesività;
- ✓ elevata stabilità meccanica per ridurre al minimo la fluidificazione e la conseguente fuoriuscita di olio alle alte temperature di lavoro;
- ✓ ottima pompabilità per una migliore distribuzione del prodotto lubrificante;
- ✓ elevata stabilità termica per l’utilizzo con temperature da – 30 °C a 140 °C.

Valgono le analoghe considerazioni viste per gli MR2-3 in materia di sicurezza.

Le principali proprietà fisico-chimiche risultano:

**Tabella 76 : *COMAR 2***

| PROPRIETA’ | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | POMATOSO FILANTE COLORE AVORIO |
| PESO SPECIFICO A 15°C | | 0,9 g/cm$^3$ |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA’ | ASTM D 92 | > 200 °C su olio base |
| PUNTO DI GOCCIOLAMENTO | ASTM D 566 | 195 °C |
| SOLUBILITA’ IN ACQUA | | INSOLUBILE |
| TIPO OLIO | | SINTETICO |
| TIPO ADDENSANTE | | SAPONE LITIO |
| SEPARAZIONE OLIO 30 h 100 °C | ASTM D 6184 | 1 % |
| PENETRAZIONE MANIPOLATORE | ASTM D 217 | 285 mm/10 |
| PENETRAZIONE A –30 ° C | ASTM D 566 | 195 mm/10 |

### *6.10.5.6 SILICON*

Olio siliconico con additivi dispersi e componenti pericolosi nafta, frazione leggera di hydrotreating, GPL (miscela di butano, iso-butano e propano), trasparente e incolore con un elevata volatilità del solvente/propellente che consente : l’immediata creazione di un film oleoso protettivo, senza eccessive colorature e quindi adatto anche per applicazioni verticali; lubrifica resistendo al dilavamento; protegge le apparecchiatura esposte all’umidità e impedisce l’invecchiamento di guarnizioni e parti in gomma; impermeabilizza rendendo idrorepellenti i materiali con cui viene a contatto.

Il prodotto {45}, che può provocare a lungo termine effetti negativi per l’ambiente acquatico oltre ad essere nocivo per gli organismi acquatici lasciando un residuo insolubile in acqua che tende a galleggiare, è estremamente infiammabile per effetto sia del propellente che dei solventi utilizzati per veicolare il grasso, i suoi contenitori potrebbero esplodere per cui va tenuto lontano da fonti di calore o fiamme ed usato solo in

ambienti ben ventilati, richiede dispositivi di spegnimento a schiuma, anidride carbonica, polvere chimica secca, terra, sabbia. I prodotti della combustione sono ossido di carbonio, composti di zolfo, silice, formaldeide, idrocarburi incombusti e altri composti dannosi per cui bisogna evitare di respirare i fumi di combustione.

Le principali caratteristiche chimico-fisiche sono :

**Tabella 77 :** ***SILICON***

| PROPRIETA' | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | LIQUIDO INCOLORE |
| PESO SPECIFICO A 15°C | ASTM D 4052 | 0,657 g/cm$^3$ con propellente<br>0,789 senza propellente |
| PROPELLENTE | | PROPANO / BUTANO |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA' | ASTM D 92 | < 0° C sulla miscela |
| SOLUBILITA' IN ACQUA | | INSOLUBILE |

### *6.10.5.7 6 IN 1*

Lubrificante spray multiuso a base di esteri di derivazione naturale con additivi e propellente $CO_2$, con componenti significativi minerali paraffinici e naftenici severamente raffinati e componenti pericolosi solfonato di petrolio, sale sodico, nafta e frazione pesante di hydrotreating, ideale per una lubrificazione leggera di metalli, plastiche, che penetra in profondità, sblocca meccanismi arrugginiti, lubrifica e riduce i coefficienti di attrito, protegge dalla corrosione, riattiva i contatti elettrici eliminando l'umidità, deterge a fondo asportando grasso, catrame e residui della combustione, le cui caratteristiche chimico-fisiche principali sono :

**Tabella 78 : *6 IN 1***

| PROPRIETA' | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | LIQUIDO AMBRATO |
| PESO SPECIFICO A 15 °C | ASTM D 1298 | 0,828 |
| VISCOSITA' A 25 °C | | > 1,6 cSt |
| PROPELLENTE | | ANIDRIDE CARBONICA |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA' | ASTM D 92 | >60 ° C sulla miscela |
| PUNTO INIZIALE DI EBOLLIZIONE | ASTM D 1120 | > 150 °C |
| SOLUBILITA' IN ACQUA | | EMULSIFICABILE |

Il prodotto non è considerato dannoso per l'ambiente, non è però facilmente biodegradabile, evapora solo parzialmente, può essere assorbito dal terreno, è emulsionabile e parzialmente disperdibile in acqua, è fonte di potenziale inquinamento delle acque. Valgono le analoghe considerazioni viste per gli MR2-3 in materia di sicurezza e misure antincendio {45}.

*6.10.5.8 SC 35*

Detergente anticongelante concentrato (da diluire opportunamente secondo le modalità consigliate), a base di glicoli, stabilizzanti, coloranti, tensioattivi anionici e anfoteri, acqua e componenti significativi etanolo e componenti pericolosi propan-2-olo {45}; il prodotto garantisce un' efficace pulizia di parabrezza vetri e fari e perfetta visibilità, sgrassando e rimuovendo insetti e ogni traccia di sporcizia, che : rispetta i materiali con cui viene a contatto come le parti verniciate e particolari in gomma o plastica e cromature in genere; abbassa inoltre il punto di congelamento dell'acqua presente nell'impianto lavacristalli durante la stagione invernale garantendo così un adeguata protezione contro il gelo.
Il prodotto è facilmente infiammabile, biodegradabile, evapora facilmente e penetra nel terreno per cui sono da evitare dispersioni al fine di evitare l' inquinamento del suolo e delle falde acquifere, in caso di incendio

richiede estintori per incendio di classe B, l'inalazione dei fumi di combustione anche in questo caso risulta dannosa visti i composti dannosi che vengono a formarsi quali ossido di carbonio, composti di zolfo, di azoto e idrocarburi incombusti.

Le caratteristiche chimico-fisiche principali risultano :

**Tabella 79 : *SC 35***

| PROPRIETA' | METODO | VALORE TIPICO |
|---|---|---|
| ASPETTO | VISIVO | Liquido LIMPIDO VERDE CHIARO |
| PESO SPECIFICO A 15°C | ASTM D 1298 | 0.885 |
| PH | ASTM D 1287 | 8,3 |
| PH (dil. al 50 %) | ASTM D 1287 | 8 |
| PUNTO DI CRISTALLIZZAZIONE (dil. al 50 %) | ASTM D 1177 | -22 ° C |
| PUNTO DI INFIAMMABILITA' | ASTM D 93 | 15°C |
| TEMPERATURA DI AUTOIGNIZIONE (dil. al 50 %) | ASTM E 659 | >500 °C |
| SOLUBILITA' IN ACQUA | | COMPLETAMENTE SOLUBILE |
| COMPORTAMENTO SU VERNICI | | SUPERA |
| COMPORTAMENTO CON LE GOMME | FIAT 50420 | SUPERA |

# Capitolo 7
# Analisi degli incendi avvenuti

## 7.1 L’ INCENDIO DELLA 5806

Al fine di poter accertare le probabili cause che hanno determinato l’evento si è proceduto ad una puntuale e particolareggiata ricostruzione dell’ accaduto, facendo principalmente riferimento alle dichiarazioni rese dalle persone coinvolte.

### 7.1.1 Descrizione dell' evento.

Il giorno 20.06.2007 l' autobus in questione, avente matricola aziendale **5806**, era in servizio sulla linea A44 con provenienza dal Comune di Sant' Antimo e diretto al capolinea di Napoli in Piazza Garibaldi. Giunto nei pressi di Piazza Ottocalli, l' autista, avvertito da un motociclista di passaggio che un principio d' incendio si stava sviluppando nella parte posteriore del veicolo, provvedeva a fermare immediatamente l' autobus, faceva scendere tutti i viaggiatori e aiutato dallo stesso motociclista, tentava di spegnere l' incendio azionando gli estintori portatili in dotazione all' automezzo stesso. Purtroppo il tentativo di spegnimento non risultava efficace e le fiamme si propagavano ulteriormente, domate poi dall' intervento dei Vigili del Fuoco. Successivamente l' autista dichiarava che:

- ✓ fino al momento dell' evento il veicolo funzionava regolarmente, senza che fosse rilevata alcuna anomalia;

- ✓ le fiamme provenivano dalla zona sottostante il motore, nella parte centrale del vano posteriore;
- ✓ preoccupato per l' incolumità dei passeggeri, non aveva attivato il comando manuale dell' impianto antincendio né quello del sezionamento dell' impianto elettrico;
- ✓ il motore si era spento da solo.

### 7.1.2 Esito dei rilievi.

Nei vari sopralluoghi effettuati nel deposito di Pascarola, dove nel frattempo è stato trasportato l' automezzo, si è accertato quanto segue :

- ✓ trattasi di veicolo in cui si è verificata propagazione di fiamma e danni estesi ma in ogni caso il *rivestimento esterno* è in buono stato e l' interno presenta danni trascurabili, in quanto l'incendio, di estensione limitata, ha interessato maggiormente la parte posteriore del mezzo;

**Figura 79 :** ***Parte posteriore del bus nel deposito di Pascarola***

- ✓ osservando dall' esterno la parte posteriore del veicolo risulta ben evidente che l' incendio ha avuto origine e sviluppo all' interno del vano motore, propagandosi successivamente alla carrozzeria in vetroresina ed al comparto passeggeri (fig.79).
- ✓ i danni prodotti ai carter di alluminio, (fig.80), indicano che l' incendio si è sviluppato nella parte bassa della zona centrale del vano motore.

**Figura 80 :** ***Danni ai carter di alluminio***

Per tutto quanto diremo sulle conseguenze che l'incendio ha determinato all'interno del vano motore, al fine di comprenderne al meglio il layout, si farà riferimento al vano motore di un autobus perfettamente funzionante e al successivo schema in cui vengono evidenziati i principali organi e collegamenti tra di essi [112 e 113].

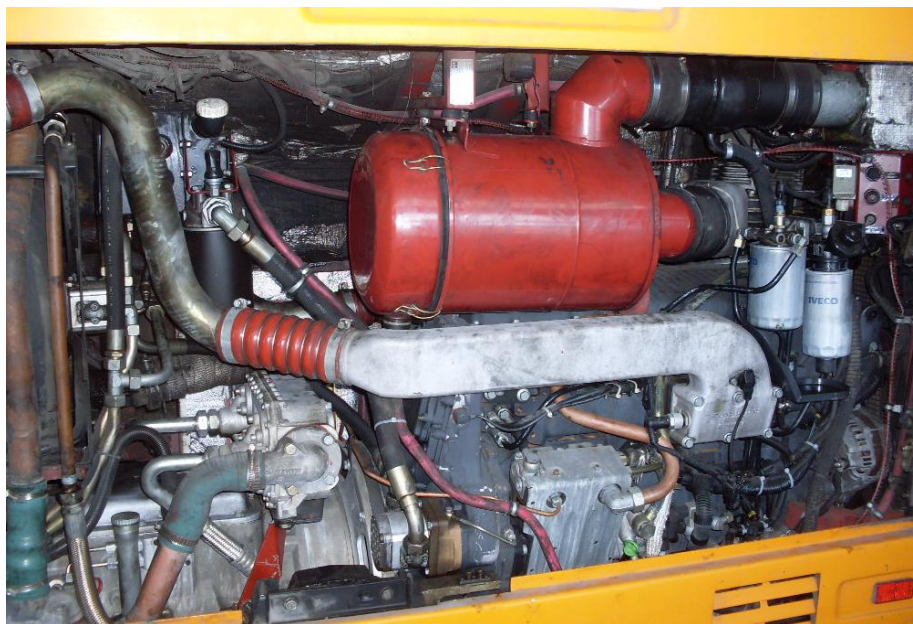



**Figura 81 :** ***Vano motore autobus funzionante***

**Figura 82 :** ***Sportellino laterale cinghie***

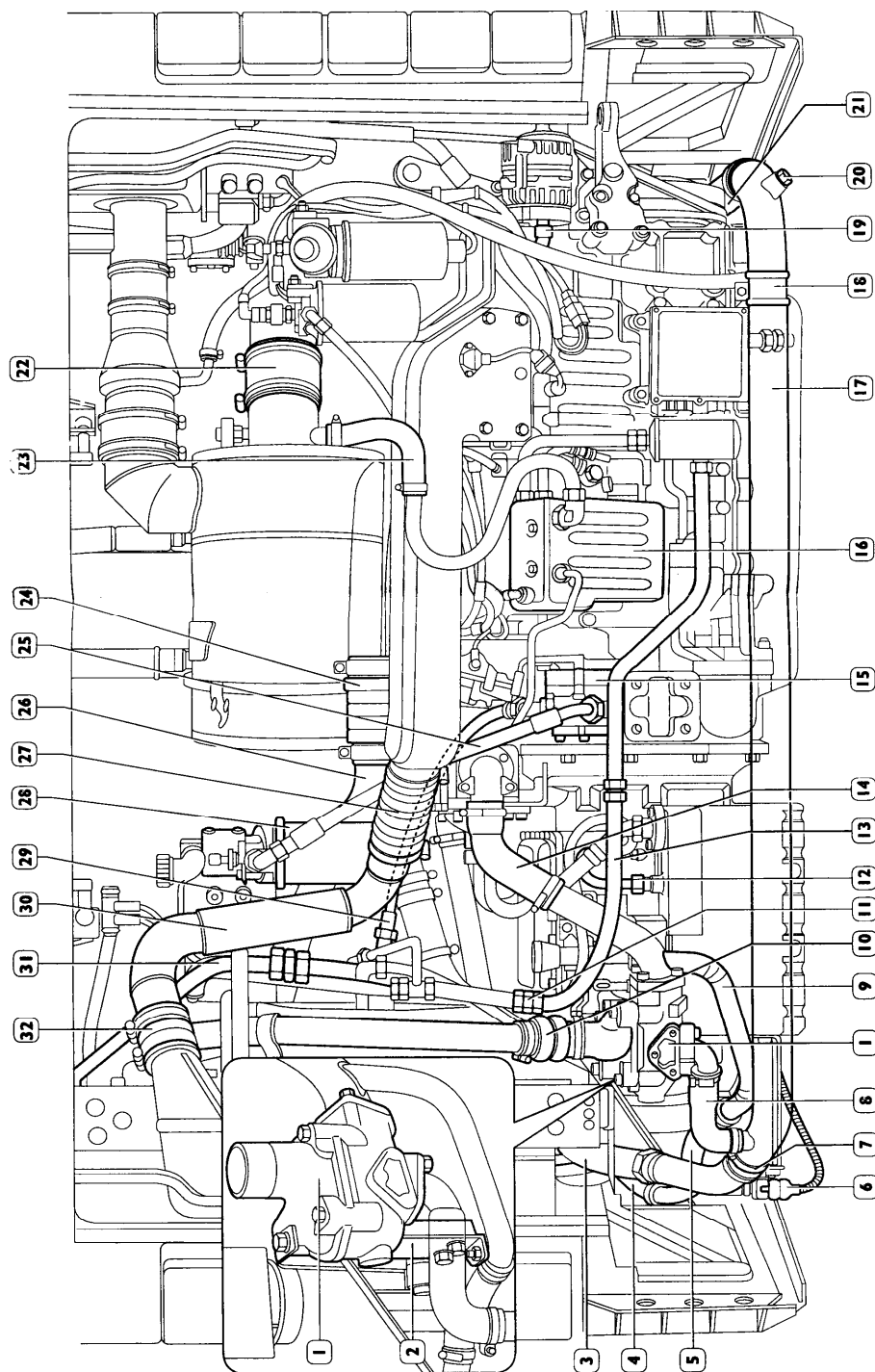



**Figura 83 :** ***Layout vano motore.***

**Didascalia figura 3** : **1** gruppo termostatico, **2** staffa di fissaggio, **3** manicotto collegamento radiatore, **4,5** manicotti collegamento riscaldatore, **6** sensore elettrico, **7** fascetta di fissaggio, 8 manicotto di collegamento gruppo termostatico, **9** Tubazione rigida gruppo termostatico, **10** manicotto termostato, **11** raccordo tubazione flessibile essiccatore, **12** connessioni elettriche sul

cambio, **13** tubazione flessibile essiccatore, **14** manicotto, **15** pompa olio idroventola, **16** compressore, **17** tubazione acqua raffreddamento, **18** fascetta di fissaggio, **19** connessione elettrica alternatore, **20** tappo di scarico acqua di raffreddamento, **21** manicotto collegamento pompa acqua, **23** tubazione di raccordo compressore filtro aria, **25** tubazione pompa olio e filtro, **26** tubazione mandata all'intercooler**, 22,24,27,32** manicotti, **28** filtro olio, **29** tubazione pompa olio e motore idroventola. **30** tubazione di ritorno all'intercooler, **31** tubazione motore ventola, **33** connessione elettrica idroventola, **34** motore idroventola, **35** tassello, **36** vite, **37** tubazione pompa acqua, **38** cinghia compressore del condizionatore, **39** tubazione serbatoio idroguida, **40** essiccatore, **41** motorino di avviamento, **42** collettore di aspirazione, **43** alloggio filtro aria, **44** filtri combustibile.

All' interno del vano motore tutti i componenti ivi installati risultano in vario modo coinvolti nell' incendio e maggiormente quelli posizionati nella zona centrale del vano, estesa in basso fino alla coppa dell' olio, dove le guaine ed i cavi dell' impianto elettrico e la guaina con la tubazione del gasolio risultano completamente distrutti (fig. 84).

**Figura 84 :** ***Guaine impianto elettrico e tubazione gasolio***

Nella stessa zona di cui sopra si nota che risulta distrutto il teleruttore di avviamento e ricarica (fig.85) e che il cavo di un alternatore presenta evidenti segni di fusione del rame (fig.86);

**Figura 85 :***Teleruttore di avviamento e ricarica*

**Figura 86 :** ***Segni di fusione del rame sul cavo dell'alternatore***

L' interruttore magnetotermico che fa capo al circuito degli alternatori è risultato in posizione disinserita, (fig. 87).

**Figura 87 :** ***Interruttore magnetotermico***

La centralina SCU, trovata integra e poi montata per la lettura su veicolo analogo, ha rilevato il seguente elenco temporale dei guasti :

**Tabella 80 :** ***Elenco temporale dei guasti***

| Ora | Guasto |
|---|---|
| 12,29 | ABS |
| 12,29 | Ricarica alternatore 2 |
| 12,29 | Sensore olio motore |
| 12,29 | Bassa pressione olio motore |
| 12,30 | Ricarica alternatore 1 |
| 12,30 | EDC |
| 12,30 | Messaggi CAN |
| 12,30 | Alta temperatura acqua motore |

Nell' *interno del vano motore*, da notare sul lato *sinistro* la fusione della ventola in plastica mentre permane la griglia protettiva metallica, la tubazione dell'aria è scollegata a causa della fusione dei manicotti di gomma, per il sistema di trasmissione idrostatica non risulta più visibile la sonda posta superiormente al filtro dell'olio dell'idroventola e il collegamento tra filtro e pompa, che avviene con tubazioni in parte

metalliche, non risultano fusioni della tubazione in plastica dell'acqua che consente il collegamento allo scambiatore di calore utilizzato per raffreddare l'olio motore; sul lato *destro* si è avuta la liquefazione del manicotto in gomma dell'alloggio del filtro dell'aria e il conseguente scollegamento, un filtro del carburante appare capovolto in posizione orizzontale mentre l'altro è restato in posizione verticale e in entrambi i casi si è avuto il danneggiamento delle sonde ad essi connesse.

Da notare inoltre :

- ✓ l' impianto antincendio, installato sull' automezzo per la protezione del vano motore, non è entrato in funzione ed il serbatoio della polvere risulta completamente carico;
- ✓ la dotazione antincendio di bordo è costituita da n° 2 estintori portatili, uno a polvere polivalente e l' altro a $CO_2$;
- ✓ l' automezzo era stato immatricolato in data 09/07/02 ed al momento dell' evento il contachilometri segnava una percorrenza di 395.761 km;
- ✓ in data 03.04.2006 all' automezzo era stato sostituito il motore dopo una percorrenza di 295.382 km, effettuando poi i tagliandi M1B ed M2B rispettivamente dopo 40.000 e 70.000 km;
- ✓ in data 05.06.2007 al km 393.547 era stata effettuata una revisione dell' impianto antincendio con sostituzione del serbatoio della polvere, del tubo erogatore e del cavo termosensibile;
- ✓ come da scheda tecnica di manutenzione, dal 30.04.2007 al 18.06.2007 l' automezzo era stato oggetto di interventi manutentivi apparentemente poco significativi ai fini della determinazione delle cause dell' incendio (sostituzione del

cavo del cambio e del vetro porta posteriore, sospensioni, aria condizionata);

### 7.1.3 Sviluppo dell'incendio

In questa parte della tesi vengono analizzati gli effetti prodotti dall' incendio in questione, cercandone di interpretare la dinamica evolutiva per poter poi cercare di risalire alle cause che l'hanno determinato. Risulta opportuno richiamare brevemente alcuni aspetti teorici del fenomeno incendio, per poter meglio comprendere come esso abbia potuto evolversi.

#### *7.1.3.1 L'incendio generico*

L'incendio, indipendentemente dall'innesco che l'ha generato e dalla tipologia, quantità e pezzatura dei materiali combustibili presenti, può essere rappresentato, come visto nella parte sulla chimica degli incendi, dalla successione delle seguenti fasi [114] :

- ✓ **fase di ignizione**, nella quale uno dei materiali combustibili presenti nell'ambiente si riscalda per una qualsivoglia causa, inizia a decomporsi e ad emettere vapori combustibili formando una miscela con aria che si infiamma o per la presenza di un innesco oppure perché si è raggiunta la temperatura di autoaccensione;
- ✓ **fase di sviluppo**, in cui la quantità di calore sviluppata viene trasmessa per conduzione ed irraggiamento agli altri materiali combustibili presenti dando inizio ad un processo di distillazione da pirolisi con formazione di ulteriori gas e vapori combustibili che a loro volta si infiammano, con sensibile aumento della temperatura e della pressione e rapido sviluppo dell'incendio : tale momento, che talvolta assume le caratteristiche di una

deflagrazione, è definito flash-over e rappresenta il punto di riferimento e di maggior rischio nello sviluppo dell'incendio. Una condizione di flash-over si verifica quando in un ambiente chiuso, in presenza di una combustione in difetto di ossigeno, si apre una porta, una finestra, si rompono i vetri ecc., con immissione di aria nell'ambiente; a questo punto l'incendio, precedentemente controllato dal combustibile, viene controllato dall'aria ed il passaggio avviene in modo rapidissimo e con grande sviluppo di energia : i materiali bruciano meglio e gli incombusti, trascinati dai fumi ad alta temperatura e portati a contatto con l'aria esterna determinano una ulteriore e rapida propagazione dell'incendio;

- ✓ **fase di incendio generalizzato**, nella quale la combustione è costante in quanto ormai bruciano tutti i materiali combustibili presenti nell'ambiente;
- ✓ **fase di raffreddamento**, nella quale l'incendio ormai tende ad estinguersi perché il materiale combustibile si sta esaurendo.

Nella prima parte le *temperature* sono differenti da punto a punto dell'ambiente, con una temperatura media in rapido aumento.

Nella fase successiva si raggiungono temperature superiori a 500 °C che provocano la deformazione di eventuali strutture metalliche, mentre generalmente ad una temperatura di poco superiore ai 100 °C si verifica la rottura dei comuni vetri presenti; la temperatura di flash over risulta in genere intorno ai 600 °C. Nella terza fase la temperatura media sale ulteriormente fino a livelli che possono raggiungere anche i 1000 °C, per poi decrescere in fase di esaurimento del combustibile.

#### *7.1.3.2 Possibili fattori di incendio*

In questa parte della tesi vengono analizzati i possibili fattori di incendio presenti : detti fattori sono facilmente identificabili nei materiali

combustibili installati e nelle potenziali sorgenti di ignizione, rifacendoci a quanto visto nel capitolo del comportamento al fuoco [115].

Per quanto inerente i materiali combustibili e infiammabili presenti, questi sono di natura solida e liquida, (gassosa in altre tipologie di bus), che a causa di una perdita o qualche altra azione e a contatto con una superficie calda possono determinare un incendio, dando origine, quando bruciano, a due tipologie di fuochi, definiti rispettivamente di classe A e B secondo la norma En 2 del CEN, con caratteristiche di accensione, combustione e spegnimento abbastanza differenti tra loro; di natura solida sono anche considerati i materiali plastici che presentano comportamento molto particolari rispetto ai combustibili solidi tradizionali. Le sorgenti di ignizione considerate sono solo quelle che possono essere causa primaria d'incendio, cioè non legate ad atti dolosi, a urti o incidenti.

#### *7.1.3.2.a Combustibili solidi*

La combustione dei materiali solidi è notevolmente condizionata dal loro contenuto di umidità e dalla pezzatura, intesa come rapporto tra il volume e la superficie interessata : più alti risultano questi valori e più difficilmente il materiale brucia. I combustibili solidi tradizionali presenti sull'autobus in questione sono praticamente costituiti da legno del pavimento, dagli strati di vernice insonorizzante a rivestimento del pavimento stesso, dalla gomma dei pneumatici e dai tessuti impiegati per le tendine parasole e in generale per i sediolini negli allestimenti degli autobus interurbani. Sia i componenti di legno che di gomma presentano una pezzatura sufficientemente grande per considerarli di facile combustibilità ed è pertanto da escludere che essi possano dare origine a un incendio; certamente in una fase successiva ne saranno coinvolti e nel caso specifico la partecipazione del legno risulterà più o meno intensa in funzione delle caratteristiche di combustibilità della vernice

insonorizzante. Per quanto concerne i tessuti, con riferimento non solo al tipo di autobus in esame ma anche ad altri della flotta, questi sono certamente di più facile combustibilità per la loro piccola pezzatura ma costituiscono soprattutto un eccellente veicolo di propagazione del fuoco, infatti :

- ✓ le tendine parasole sono installate in posizione sospesa e possono bruciare su entrambe le facce;
- ✓ i rivestimenti dei sediolini bruciano inizialmente su una sola faccia e rappresentano l'innesco dell'imbottitura sottostante, costituita in genere da materiale plastico espanso dalla rapida velocità di combustione.

*6.1.3.2.b Materie plastiche*

I materiali di natura plastica in caso di incendio presentano le seguenti preoccupanti caratteristiche :

- ✓ alcuni tipi quali il PVC, il polietilene, il polistirene, il polipropilene, ecc, fondono a temperature piuttosto basse, a circa $135 \div 150$ °C e rilasciano gocce infiammabili che contribuiscono ad una notevole propagazione dell'incendio;
- ✓ tutte le materie di tipo espanso, quali il polistirolo ed il poliuretano, presentano una velocità di propagazione molto elevata e sono di difficile spegnimento;
- ✓ tutte indistintamente presentano dei poteri calorifici piuttosto elevati ed emettono fumi e gas tossici in quantità notevolmente superiore a quella dei combustibili tradizionali; lo sviluppo dei prodotti della combustione è principalmente legato al tipo di polimero, con formazione di ulteriori gas nocivi se risulta additivato con sostanze ignifughe di tipo alogenato.

Nell'attuale configurazione degli autobus l'impiego dei materiali plastici è diventato sempre più consistente e ed esaminando l'autobus specifico si può rilevare che sono distribuiti in modo pressoché uniforme e continuo all'interno e all'esterno del veicolo, avvolgendo totalmente il comportamento dei passeggeri. E' però difficile che essi costituiscano la fonte primaria dell'incendio, ma ne sono immediatamente coinvolti, favorendo la rapida estensione dell'incendio.

*7.1.3.2.c Combustibili liquidi*

Ben diversa pericolosità presentano i combustibili liquidi la cui combustione è regolata dalla temperatura di infiammabilità, alla quale vengono emessi vapori infiammabili e dal campo d'infiammabilità cioè dalle proporzioni della miscela vapore-aria : una bassa temperatura di infiammabilità, un basso limite inferiore ed un ampio campo di infiammabilità costituiscono le condizioni di maggior pericolo ed è sufficiente un innesco di scarsa energia per attivare la combustione. Tali condizioni ben si realizzano sull'autobus in questione non tanto per le quantità in gioco e per le loro modalità di stivaggio, quanto per le possibilità di perdite e/o trafilamenti che, anche se di modesta entità, possono manifestarsi dai collegamenti dei numerosi componenti eterogenei dei vari circuiti di distribuzione di detti liquidi combustibili con il conseguente rischio di incendio del prodotto infiammabile o di un' esplosione dei vapori della sostanza. Bisognerebbe anche considerare la possibilità di un cedimento dei contenitori per effetto di un surriscaldamento prodotto da una fonte di calore esterna, che determinerebbe sia un aumento della pressione interna dell'infiammabile e di quella che agisce quindi sulle pareti del serbatoio, sia un incremento della temperatura del materiale costituente il serbatoio cui corrisponde una diminuzione della resistenza meccanica. Nel caso di cedimento

strutturale del serbatoio contenitore il prodotto infiammabile contenuto, per effetto dell'aumento di pressione e temperatura, produce all'esterno del serbatoio un'onda di pressione e la violenta combustione della sostanza infiammabile rilasciata, cioè si verifica il fenomeno definito bleve, caratterizzato dall'esplosione del vapore prodotto da liquido bollente e seguito dall'immediata accensione della nube infiammabile creatasi (palla di fuoco) e da un' onda d'urto di sovrapressione. Il fenomeno del cedimento del serbatoio eseguito da rilascio di prodotto incendiabile (bleve e fire ball) può comportare anche il lancio di frammenti di materiali generatisi a seguito del cedimento di qualsiasi tipo di recipiente [116]. Nella tabella che segue sono indicate alcune caratteristiche e le quantità medie generalmente presenti su un autobus :

**Tabella 81:** ***Caratteristiche fluidi presenti su un autobus***

| Sostanza combustibile | Punto di infiammabilità (°C) | Temperatura di accensione (°C) | Quantità media presente (litri) |
|---|---|---|---|
| Gasolio | >55 | >220 | 250 ÷ 350 |
| Liquido per circuiti frenanti | 150 | >300 | 1,5 ÷ 3 |
| Olio per trasmissioni | 190 | >300 | 30 ÷ 50 |
| Olio lubrificante 15 w 40 | 220 | >300 | 20 ÷ 35 |
| Olio lubrificante 80 w 90 | 220 | >300 | 13 ÷ 16 |

Il contatto tra liquidi infiammabili e il sistema di gas di scarico caldi è una causa molto comune di incendi nel vano motore ma solitamente è necessaria una temperatura più elevata della temperatura di auto ignizione affinché una superficie calda a contatto con un liquido determini l'accensione, rispetto al caso in cui il liquido venga riscaldato in maniera omogenea, in quanto il liquido si riscalda ed evapora a spese dell'energia presa dalla superficie calda. Se i tubi di scarico sono sottili, la

temperatura può quindi scendere al di sotto della temperatura di autoignizione del liquido prima che il liquido stesso raggiunga questa temperatura e il gas formato dalla evaporazione del liquido non si accende. Nella tabella successiva vengono mostrate le temperature superficiali tipiche per i sistemi di scarico necessarie ad innescare differenti liquidi combustibili :

**Tabella 82 :** ***Temperature superficiale necessaria all' ignizione di alcuni combustibili***

| Materiale | Temperatura superficiale necessaria all' ignizione del combustibile [°C] | Temperatura di auto ignizione [°C] |
|---|---|---|
| Gasolio | 520÷550 | 220 |
| Olio motore | 350÷600 | 350 |
| Fluido freni | 410÷500 | 350 |

Dalle evidenti caratteristiche di pericolosità dei liquidi combustibili e dalla frequenza di specifici eventi significativi, come quelli relativi ad alcuni modelli di autobus in servizio presso la CTP, è emersa una interessante linea di tendenza del principio d'incendio riconducibile all'olio idraulico per trasmissioni. Nei veicoli coinvolti sono infatti presenti impianti idraulici relativi al ventilatore e al sistema idroguida che fanno capo ai relativi serbatoi ed in particolare il secondo è realizzato in materiale plastico. Entrambi i serbatoi e la componentistica degli impianti ad esse relative, quali tubazioni, raccordi, filtri, indicatori di livello, pompe, motori idraulici, ecc. sono installati all'interno del vano motore dove il tutto risulta ben soggetto a sollecitazioni termiche e meccaniche : la presenza di una piccola vaschetta per detti oli, per giunta in corrispondenza dei bocchettoni di riempimento, già evidenzia la concreta possibilità di perdite o gocciolamenti.

E’ sufficiente che un piccolo trafilamento di uno degli oli giunga a contatto diretto con una modesta sorgente di ignizione, che accidentalmente può prodursi nel vano posteriore, per dare origine all’incendio : questi si intensificherà per il successivo rilascio di liquido dai due serbatoi, dai vari componenti e dalle tubazioni di collegamento, tutti in gran parte di tipo non metallico.

*7.1.3.2.d Sorgenti di ignizione*

Tenendo conto delle considerazioni fatte nella parte precedente della tesi, si è cercato di identificare la tipologia dell’innesco esaminando tutti quei possibili fattori di incendio che potevano dare origine all’evento. E’ opportuno precisare che dalle testimonianze raccolte e dai sopralluoghi effettuati non sono venuti alla luce elementi tali da poterne individuare con certezza la provenienza. Le sorgenti di ignizione che accidentalmente possono generarsi sull’autobus sono in genere conseguenza di inconvenienti meccanici od elettrici, che si verificano principalmente a seguito di sobbalzi e vibrazioni cui è soggetto il veicolo durante il normale l’esercizio, da considerare quindi come ulteriori fattori che possono determinare il rilascio di infiammabili e l' innesco, e/o per un carente raffreddamento del vano motore, specie in condizioni climatiche avverse. E’ difficile che l’energia di tali sorgenti possa attivare la combustione dei materiali solidi, ma certamente è in genere sufficiente per quelli di natura liquida.

*7.1.3.2.d.1 Scintille*

Sono una delle più comuni cause di origine dell’incendio e possono essere sia di natura elettrica che di natura meccanica. Quelle *di natura elettrica* sono principalmente dovute al consumo del rivestimento isolante dei fili a seguito di sfregamento contro una superficie metallica oppure per contatto con una superficie calda; in caso di urto, le scintille sono

spesso provocate dal danneggiamento del vano batterie, specie se questi è ubicato in posizione particolarmente esposta. Le scintille *di natura meccanica* sono originate dalla rottura di componenti meccanici che strisciano o che vengono a contatto con organi in movimento : si verifica frequentemente che inconvenienti alla turbina, quali il disassamento o la rottura di alette, anche per le elevate temperature in gioco, comportino la rapida accensione dei vapori di gasolio. Visto quindi che un sistema elettrico può sviluppare calore, andrebbe trattato in modo tale che il rischio di accumulo di calore sia mantenuto molto basso e principio basilare deve essere che i cavi siano tenuti rigorosamente separati dalle tubazioni del carburante, dai tubi idraulici, di liquidi infiammabili e gas.

*7.1.3.2.d.2 Superfici calde*

Oltre alle superfici naturalmente calde del motore, sempre presenti durante il suo funzionamento, il surriscaldamento di superfici metalliche può essere accidentalmente causato da attriti anomali originati dal bloccaggio di organi rotanti quali cuscinetti, pulegge, ventole, ecc, oppure generato da perdite di tenuta dei collettori e delle tubazioni di scarico. Teniamo presente che il calore prodotto dalla combustione nel motore e portato fuori dal motore dal sistema di gas di scarico e dal corpo motore fa si che i tubi di scarico abbiano temperature fino a 600 °C, il corpo motore sia in genere a circa 95 °C, mentre la temperatura dell’aria in un vano motore è normalmente attorno ai 70-90 °C, che è superiore al punto di infiammabilità del diesel, il che significa che nel compartimento, il liquido è facilmente infiammabile ed inoltre se un motore è ad alti regimi, ad alta temperatura esterna e il vano motore è poco ventilato allora la temperatura dell’aria può aumentare a livelli ancora più elevati.

*7.1.3.2.d.3 Alcune osservazioni sugli incendi di origine elettrica*

Vista la grande percentuale di incendi di origine elettrica e poiché un autobus moderno contiene chilometri di cavi e molti punti di contatto, i rischi incendio sono elevati, per cui vale la pena fare alcune osservazioni in merito. A tale proposito c'è da osservare però che la stragrande maggioranza degli incendi di origine elettrica è imputabile al fattore umano poiché, gli impianti elettrici, se eseguiti a regola d'arte, non presentano particolari pericoli di incendio. Per cui se una data apparecchiatura elettrica viene realizzata tenendo conto della legge di Joule, che consente di determinare il calore che si sviluppa in un corpo percorso da corrente :

$$J = RI^2$$

in cui :

- ✓ R è la resistenza elettrica del conduttore o corpo espressa in Ohm
- ✓ I è la corrente elettrica che percorre il conduttore espressa in Ampere
- ✓ J è l'energia elettrica che si trasforma in calore espressa in Joule

ne consegue che lavorando nei limiti di potenza per cui è stata costruita non subirà riscaldamenti eccessivi e quindi non presenterà pericoli di incendio. Ma nel caso in cui è richiesto alle apparecchiature di convogliare e fornire potenze superiori a quelle per le quali sono state costruite per effetto di errori di uso, di installazione o di altro, o viene impedita la dispersione di calore sviluppato per effetto Joule, o si verificano dispersioni di corrente ad esempio per difetti di isolamento o altro, si creeranno certamente situazioni in grado di causare l' incendio. Non rare sono in effetti situazioni di :

- ✓ **Raffreddamento insufficiente**, come nel caso di particolari sistemazioni, ad esempio per esigenze estetiche, che impediscono

la circolazione di aria che consente lo smaltimento di calore generato per effetto Joule.

- ✓ **Eccessivo riscaldamento**, come avviene quando un componente elettrico viene sovraccaricato e quindi percorso da una corrente superiore a quella per cui è costruito, nel qual caso possono danneggiarsi i materiali che assicurano l'isolamento dagli altri componenti cui è collegato e dagli elementi circostanti, con effetti che possono anche essere differiti nel tempo. Infatti le eccessive temperature degradano le guaine isolanti protettive, realizzate con materiali plastici sintetici, che si infragiliscono e fessurano se sottoposti a ripetuti cicli termici e l' impianto elettrico non risulta più protetto dal necessario grado di isolamento ed inoltre non sempre in questi casi riescono ad intervenire tempestivamente i dispositivi di sicurezza a protezione delle sovracorrenti e sovratensioni, tarati sulla massima corrente che può percorrere la linea a valle, che quindi intervengono quando la corrente supera il valore massimo globale della linea; infatti nel caso di dispositivi e motori elettrici possono aversi sovraccarichi in caso di malfunzionamento, che determina una richiesta di potenza superiore a quella per cui sono costruiti, ad esempio la corrente di spunto che percorre gli avvolgimenti dei motori elettrici alla partenza è notevolmente superiore a quella che percorre il motore a regime ma essendo di breve durata non danneggia gli avvolgimenti cosa che avviene quando la coppia di spunto è insufficiente e la corrente diviene anche dieci volte maggiore di quella di esercizio per cui un non repentino intervento dei dispositivi di sicurezza dei motori può determinare surriscaldamenti; o ancora sovraccarichi possono aversi in apparecchi elettrici aventi un uso saltuario o intermittente per i

quali i periodi di inattività consentono la dispersione del calore ma se il periodo di riposo tra un ciclo di funzionamento e il successivo scende sotto un certo valore può aversi accumulo di calore. La gran parte degli incendi di origine elettrica è dovuta in effetti, più che ai corti circuiti, proprio ai sovraccarichi elettrici e al successivo riscaldamento con incendio che può insorgere in tempi successivi, con correnti minori, quando ormai le apparecchiature si sono degradate, o in concomitanza al sovraccarico quando gli isolanti distillano per effetto del calore, si generano quindi prodotti aeriformi che mescolandosi con l'aria costituiscono delle miscele infiammabili che possono innescarsi tramite la stessa fonte di calore che le ha generate, bruciando con una velocità tale da rasentare una deflagrazione.

- ✓ **Isolamento imperfetto** : può aversi sia per installazioni eseguite male sia per deterioramenti dovuti a degradazione dei materiali per vetustà o particolari situazioni ambientali e per questo aspetto risulta fondamentale il ruolo della manutenzione nel garantire la completa efficienza degli impianti. In particolare bisogna prestare attenzione a rotture dell'isolante dei cavi protetti da guaine e alle rotture dei supporti, a fattori accidentali che determinano il contatto tra conduttori a tensione diversa, alle sovratensioni accidentali che possono determinare una scarica elettrica fra componenti a tensione diversa e alle perdita di proprietà dielettriche dell'isolante a causa di umidità o modifiche per invecchiamento e degrado. Le correnti parassite conseguenti ai difetti di isolamento saranno più o meno intense a seconda dell'impedenza dei circuiti in cui il difetto è presente e se l' impedenza di guasto risulta nulla si verifica un *corto circuito* e in questo caso, in corrispondenza del difetto di isolamento, la

resistenza è zero con energia dissipata in calore pari a quella di una linea che percorsa da una corrente di corto circuito che può essere anche dell'ordine dei migliaia di Ampere. Di conseguenza i conduttori possono raggiungere rapidamente temperature (600÷700 °C) in grado di provocare l'accensione delle sostanze combustibili poste in prossimità. Tuttavia, un corto circuito del genere è un evento eccezionale, per la presenza dei dispositivi di sicurezza posti a protezione delle linee e poiché l'impedenza della linea cortocircuitata non può mai essere comunque nulla e quindi la corrente di corto circuito non raggiunge istantaneamente il massimo valore ma valori in genere fino a cento volte superiori a quelli normali, inferiori a quelli teorici ma comunque elevati e in grado di causare l'accensione dei combustibili a contatto. Nella zona di contatto fra i conduttori a diversa tensione, la temperatura raggiunge facilmente i valori di fusione e possono insorgere archi elettrici per l'aumento della resistenza, ma il fenomeno avendo breve durata fa in modo che l'energia elettrica effettivamente dissipata sia di solito modesta e se le installazioni sono realizzate in modo corretto entrano in azione i dispositivi di sicurezza in tempi brevi, per cui il corto circuito non è affatto la causa tipica degli incendi di origine elettrica. In alcuni casi però come nel caso degli autobus, a bordo dei quali sono installate le batterie di accumulatori collegati con impianti elettrici percorsi da corrente continua e sottoposti quando il veicolo è in movimento a scuotimenti, vibrazioni, forti sbalzi termici, eventi meteorologici di ogni genere ed anche ad atmosfere e sostanze fortemente corrosive, può effettivamente prodursi un corto circuito. Basta infatti la semplice abrasione dell'isolante, o lo spellamento per strofinio di un conduttore contro una parte metallica per causare

pericolose correnti e conseguenti surriscaldamenti locali che data la diffusa presenza di oli, grassi e altre sostanze infiammabili che possa aversi l'incendio del veicolo.

Infine sono da segnalare :

- ✓ **difetti di isolamento di impedenza medio-alta** : quando le correnti supplementari non superano di dieci volte quella ordinaria, dovuta a cattivo contatto tra due conduttori o differenza eccessiva di tensione elettrica fra un conduttore e altro corpo conduttore non isolato verso terra, casi in cui se la tensione supera la rigidità dielettrica del mezzo interposto si manifesta una scarica elettrica fra i conduttori e l'energia termica sviluppata da essa può determinare perforazione dell'isolante o carbonizzazione di un filetto dell'isolante determinandosi così le condizioni per un arco elettrico o di un cattivo contatto e a causa dell'altissima temperatura assunta localmente mentre nelle altre tratte è minore, essendo modesta la corrente richiamata nel circuito i dispositivi di sicurezza potrebbero intervenire in ritardo o per nulla e l'energia dissipata potrebbe essere ingente così come la temperatura;
- ✓ **dispersioni di correnti causate dal degrado degli isolanti** : il progressivo instaurarsi di fenomeni quali naturale invecchiamento, surriscaldamento eccessivo, attacco di atmosfere aggressive può determinare l'instaurarsi di correnti elettriche di debolissima intensità fra i circuiti elettrici e la terra, non rilevabili dalle strumentazioni ordinarie, che possono permanere a lungo causando subdoli effetti;
- ✓ **collegamento imperfetto dei componenti elettrici dei circuiti e delle apparecchiature** : è il difetto più comune riscontrabile negli impianti elettrici ed è anche all'origine della maggior parte di incendi attribuibili a dissipazione dell'energia elettrica in calore.

Basta a tal proposito ricordare che i conduttori vengono solitamente collegati fra loro mediante morsetti o collari trattenuti da viti e che la continuità dei circuiti può essere pregiudicata per imperfetto serraggio dei morsetti, per allentamento delle viti di fissaggio a seguito di vibrazioni, urti o altre sollecitazioni; per cui la debole impedenza delle connessioni può divenire improvvisamente di parecchi Ohm e nel punto può aversi una notevole dissipazione di calore dell'energia elettrica, che può durare a lungo, con conseguente innalzamento della temperatura a valori in grado di provocare l'accensione dei materiali combustibili posti a contatto. Identici effetti possono essere provocati da filettature difettose di viti e madreviti, stiramenti accidentali di fili, guaine di spessore irregolare in certi tratti, cavi elettrici recuperati da impianti dismessi il cui isolante è deteriorato;

- ✓ **elettrizzazione per strofinio o triboelettricità** : quando si strofina un conduttore isolato con un corpo appropriato si determina una migrazione di elettroni da un corpo all'altro cosicché a distacco avvenuto uno dei corpi risulta carico positivamente e l'altro negativamente e quando la tensione del corpo elettrizzato supera un determinato valore può aversi una scarica elettrica fra il corpo elettrizzato e il conduttore elettrico più vicino a minore potenziale elettrico con dissipazione in calore dell'energia elettrostatica del corpo elettrizzato che in presenza di miscele aeriformi infiammabili può innescare incendi.

I principali *fattori di rischio* in un sistema elettrico possono quindi considerarsi :

- i *danni derivanti dal calore*, che accelera l' invecchiamento con conseguente affaticamento e potenziale malfunzionamento di parti ad esempio in materiale isolante (plastica, gomma ecc.);
- gli *effetti meccanici* come ad esempio urti e vibrazioni che possono determinare danni meccanici come l'usura, lacerazioni e danni ai morsetti o i contatti con bordi taglienti che possono provocare corti circuiti, per cui il bloccaggio dei cavi va effettuato con attenzione particolare;
- gli *agenti chimici* come l'umidità, che determina problemi di resistenza nel contatto a seconda dell'ossidazione e scintille che possono aversi nei connettori, sviluppando archi in alcuni casi, accelerando così la decomposizione e incrementando il potenziale per l'ignizione, oppure la polvere sui materiali isolanti che può sviluppare ponti di carbonio causando dispersione di correnti e in alcuni casi archi elettrici;
- infine il *design dei cavi* poiché i veicoli di oggi contengono chilometri di cavi e per mantenere bassi i pesi e i costi, la tendenza è di ridurre le sezioni trasversali a dimensioni più piccole, determinando così un maggior rischio incendio in caso di incidente o imprevisti sovraccarichi o se i cavi sono termicamente isolati e la temperatura ambiente è elevata, aumentando il rischio di danni da fusione nell'isolamento dei cavi.

Dal momento quindi che gli incendi causati da guasti elettrici rappresentano una percentuale relativamente alta del totale degli incendi, saranno necessarie misure preventive per eliminare o attenuare i danni. Se la potenza venisse rapidamente interrotta nel circuito che causa o mantiene l'incendio, il fuoco potrebbe spegnersi da solo o rallentare, ma dal momento che i fusibili non sono una garanzia che un incendio non si verifichi o diffondi, un moderno sistema elettrico dovrebbe essere dotato

di un sistema di scansione tramite sensore che segnali un errore e spenga la corrente, senza però che l'autobus diventi impossibile da guidare. L'aggiunta di blocchi di connessioni con portafusibili in posizioni strategiche nel bus, fin dall'inizio della fabbricazione, faciliterà e garantirà la qualità di questi impianti, contribuendo inoltre a semplificare il cablaggio, in vista delle personalizzazioni con attrezzature ed accessori per le esigenze future. Le fascette e stringenti usate per fissare tubi, cavi, componenti, ecc., sono spesso in materiale termoplastico, che nel tempo e nell'ambiente caldo del vano motore invecchia, si lacera e perde le sue funzionalità; per cui sarebbe quindi utile che le fascette siano contrassegnate da una temperatura massima di esercizio al fine di assicurare una vita di lavoro per esempio di 10-15 anni.

*7.1.3.2.e Influenza di ulteriori fattori*

Fondamentale importanza nello sviluppo dell'incendio rivestono sia le caratteristiche di reazione al fuoco delle sostanze coinvolte che la ventilazione dell'ambiente, fattori determinanti per allungare il tempo di accadimento del flash-over.

- ✓ La **ventilazione del vano motore** : che è ottenuta naturalmente, attraverso finestrini di aerazione grigliati e meccanicamente attraverso la ventola del raffreddamento. In linea generale una buona ventilazione fa diminuire la probabilità di accadimento di incendio, infatti con essa diminuisce la temperatura globale nel vano, anche in presenza di perdite dai condotti dei gas di scarico. Inoltre si diluiscono eventuali vapori infiammabili emessi da perdite di oli e/o gasolio. Quindi la ventilazione è un buon metodo per prevenire gli incendi nei vani motori. Tuttavia, nel momento in cui si dovesse verificare un incendio è buona regola fermare subito

il veicolo e arrestare la ventola del raffreddamento per evitare di alimentare il fuoco.

- ✓ **La ventilazione della zona passeggeri** : se l'ambiente presenta una scarsa ventilazione, la coltre di fumo si estende verso il basso fino a rendere indistinguibile il punto dove si trova il focolare stesso e l'aria diventa irrespirabile per il calore, per la carenza di ossigeno e per la presenza di fumi e vapori. Nel caso il soffitto presenti aperture per l'espulsione dei gas caldi ed anche le pareti dispongano di aperture per l'immissione di aria fredda, si instaura un effetto camino con espulsione di parte o tutti i gas caldi in funzione della posizione e della dimensione della superficie di sfogo. In definitiva il miglior controllo dell'incendio deve essere fatto con la ventilazione, anche se ciò contribuisce ad accrescere la velocità di combustione e la propagazione : la ventilazione scongiura i pericoli di infiammazioni improvvise, favorisce lo smaltimento di grandi quantità di fumo e calore e consente un più sicuro ed efficace intervento di spegnimento.
- ✓ La **temperatura** : per avviare un incendio e mantenerlo in vita, deve esserci calore e la capacità di un materiale di innescare un incendio sono proporzionali alla temperatura per cui, a parità di tutte le altre condizioni, quanto più alta è la temperatura media nel vano motore, tanto maggiore è la probabilità di innesco. Infatti è maggiore la quantità di vapori infiammabili emessa da perdite e/o tra filamenti di liquidi infiammabili, oli e grassi. Ciò è aggravato dal fatto che il calore, in aggiunta alle sollecitazioni meccaniche, oli e vibrazioni, provoca l'invecchiamento, riducendone la durata, della maggior parte dei materiali organici come i polimeri, la cui percentuale nei veicoli è oggi molto alta e la cui resistenza e vita, secondo una regola empirica sviluppata da Arrhenius, da non

utilizzare per più di 20-30 °C oltre le temperature testate, si dimezza se la temperatura media si incrementa di 10 °C, a dimostrazione del rischio di temperature elevate in un compartimento motore. Inoltre l'isolamento acustico dei vani motori, che fornisce anche un buon isolamento termico, determina un innalzamento della temperatura nel compartimento e combinandosi con la scarsa ventilazione e ad un' alta temperatura esterna da luogo ad una temperatura ancora più alta, determinando un forte effetto da invecchiamento da calore sui materiali polimerici e una conseguente riduzione della resistenza di molte parti, esercitando in particolare una maggiore sollecitazione sui fissaggi e fascette in materiale plastico.

- ✓ le **vibrazioni** e altri movimenti frequenti, che si creano ad esempio nel contatto con la strada, accelerano processi di degradazione già esistenti delle parti, che collegate al motore vibrano con esso e sono, in gran parte, la ragione per cui i tubi e altri componenti del veicolo sviluppano cricche di fatica, rotture e perdita di fluidi infiammabili o del perché l'isolamento del sistema elettrico viene meno o si crea un corto circuito; compito fondamentale della manutenzione è quindi il fissaggio dei cavi e tubi, affinché possano sopportare le continue vibrazioni durante il funzionamento ed è di grande importanza che gli elementi di fissaggio siano di qualità adeguata per garantire la loro affidabilità per tutta la durata di lavoro prevista.
- ✓ la presenza di **spazi angusti e inaccessibili** nel vano motore, che impediscono l'accesso sia fisico che visivo, costituisce una potenziale fonte di incendio ed in aggiunta ad una scarsa ventilazione, conduce spesso ad alte temperature, che a sua volta riduce la durata dei particolari; per quest'ultimi la scelta dei

materiali è spesso dettata da motivazioni economiche piuttosto che dalle prestazioni ed inoltre gli ingegneri nel processo di progettazione devono effettuare una serie di compromessi al fine di raggiungere i loro obiettivi, per tener conto sia delle richieste del mercato, ma anche dei requisiti di legge che limitano i bus, come ad esempio nei bus di città dove lo spazio passeggeri e un basso piano di accesso sono stati prioritari, determinando vani motori molto compatti che rendono l'accessibilità e la manutenzione più complicata.

*7.1.3.2.f Osservazioni sul servizio di Manutenzione*

Il livello di manutenzione è uno dei fattori più importanti per la prevenzione degli incendi e se inadeguata è fonte di numerosi incendi, per cui molte possibilità di incendio possono essere evitate con il giusto tipo di servizio di manutenzione e in combinazione con un' attenta valutazione del rischio possono individuarsi in tal modo le procedure più corrette per mitigare eventuali rischi individuati. Per cui affinché il servizio adempia al suo scopo è necessario non solo il controllo delle parti rese facilmente accessibili dai produttori ma deve essere eseguita anche una verifica, attraverso ispezione visiva e fisica, delle altre parti del vano motore e degli elementi che necessitano di attenzione al fine di corretta una valutazione dei rischi.

Poiché un servizio completo per un autobus può richiedere 6 ore, mentre un bus da città può richiedere anche 8 ore ed uno a gas può richiedere un tempo addizionale del 50% in più, a seconda dei sistemi di sicurezza che richiedono attenzione, al fine di effettuare l'assistenza e la riparazione dei bus per i servizi interurbani in una flotta occorreranno un 10% di autobus supplementari. Inoltre visto che molti degli autobus da città di oggi hanno dei compartimenti motori compatti tanto che sia l'ispezione che l'accesso

sono fortemente limitati, la manutenzione necessiterà quindi di un tempo maggiore a causa della mancanza di spazio e difficoltà di accesso. Alcune parti del motore sono accessibili solo dalla parte superiore o da dentro l'autobus attraverso opportune aperture, che limitano fortemente le aree di lavoro, ed è possibile che alcuni controlli siano consciamente o inconsciamente eliminati per cui la scarsa accessibilità incrementa il tempo necessario alla manutenzione e diminuisce la sua qualità innalzando il rischio incendio. Esigenze economiche portano sia a pochi autobus extra che a tagli dell'organizzazione della manutenzione, che a sua volta ha pochi margini ma esigenze elevate di personale e materiali e poiché i lavori vengono spesso effettuati in condizione di disagio in spazi limitati, con scarsa visibilità e in cui c'è rischio di lesioni a causa di superfici calde e spigoli vivi ed il tempo a disposizione è breve, si determina un incremento del rischio di errori e della frequenza di incidenti. Proprio perché vi sono molti posti sull'autobus inaccessibili sia visivamente che fisicamente, esistono molti esempi in letteratura, di riparazioni in cui, per varie ragioni, una parte è stata montata in modo errato a causa della scarsa accessibilità o mancanza di tempo, (ad esempio un tubo che non si chiude nel posto giusto, cavi installati con lunghezze libere), aumentando così il rischio che le vibrazioni influenzino dei particolari, che la fatica meccanica conduca a rotture e perdite ed è comune in questi contesti, che a causa dell' usura si determinino danni all' isolamento dei cavi. Una valutazione errata del rischio o della situazione a causa della mancanza di tempo può quindi essere disastroso : una piccola perdita può crescere e diventare più grande se non risolta in tempo, oppure dei dadi e bulloni non serrati, possono facilmente portare a separazioni determinando danni che a loro volta possono causare incendi o ancora un tubo in materiale polimerico può essere invecchiato a causa dell' elevato calore e una volta diventato duro e fragile, se non sostituito

in tempo, può insorgere una perdita che a sua volta può condurre a un incendio.
Nonostante sia ancora molto comune per le compagnie di autobus avere un proprio centro di servizio, secondo una nuova tendenza emergente gli autobus vengono direttamente affittati dal fabbricante o da responsabili delle vendite, il che significa che viene acquistato un pacchetto di autobus e servizi. Il produttore detiene ancora l'autobus e servizi a intervalli di tempo specificati e qualora il bus non venga portato agli appuntamenti per gli specifici servizi, la garanzia viene ridotta. Questa nuova tendenza ha un effetto positivo in quanto gli autobus hanno una miglior manutenzione e probabilmente il numero di incendi nel lungo periodo si ridurrà.
Infine un' idea per migliorare le condizioni di manutenzione potrebbe essere quella di rendere il corpo motore più semplice, migliorando quindi l'accessibilità e riducendo quindi i tempi di manutenzione e la qualità del servizio.

#### *7.1.3.3 Schematizzazione autobus*

In definitiva, dall'analisi effettuata, risulta abbastanza evidente che, quando il veicolo stesso risulta fonte primaria dell'incendio, i fattori che determinano tale evento sono principalmente da ricercarsi nelle perdite di combustibili liquidi e per la presenza di una delle sorgenti di ignizione indicate. Nell'attuale configurazione degli autobus, tutti questi fattori sono in massima parte concentrati nel vano posteriore del veicolo dove oltretutto per la presenza del motore e delle tubazioni di scarico, la temperatura interna risulta abbastanza sostenuta e crea condizioni più favorevoli all'evento anche se non bisogna escludere anomali surriscaldamenti dovuti a freni e gomme oppure occasionali contatti con

una fonte di calore dei materiali di allestimento interno al veicolo che possono portare al coinvolgimento dell'intero mezzo,.

Nello schema seguente vengono indicate le due zone più pericolose dell'autobus, definite da alcuni tecnici **punti fuoco** perché in esse nella quasi totalità dei casi ha origine l'incendio mentre il senso delle frecce indica la direzione di propagazione delle fiamme e la loro dimensione ne indica l'intensità :

- ✓ la **zona A** corrisponde alla parte anteriore del veicolo, comprendente anche il posto guida è rilevante dal punto di vista elettrico in quanto in essa sono in genere ubicate buona parte delle centraline elettriche ed elettroniche, nonché tutti i comandi, i controlli e le protezione dei vari circuiti di bordo. Molto pericolose, specie in caso di urto, risulta il posizionamento in questa zona del vano batterie, della parte idraulica del sistema frenante anteriore, per di più con serbatoi di liquido e tubazioni di plastica e talvolta dei serbatoi di gasolio come per esempio sull'Iveco 380.12.35. Nel sottopavimento infine, all'altezza del posto di guida, è installato il sistema idroguida collegato mediante tubazioni agli altri impianti idraulici posti nella zona B;
- ✓ la **zona B** è costituita dalla parte posteriore del veicolo, di cui è stata già fornita ampia descrizione.

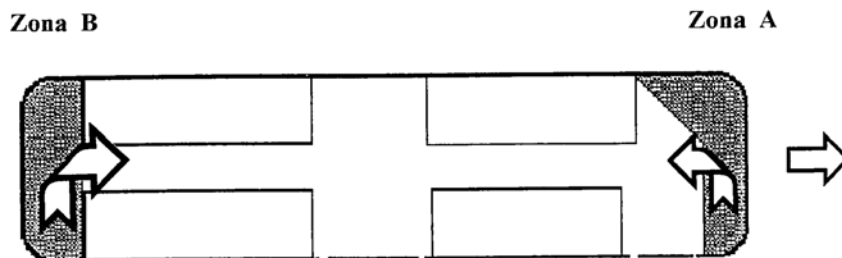



**Figura 88 :** ***Punti fuoco autobus***

Gli ulteriori due schemi indicano i percorsi di esodo del compartimento passeggeri tendenzialmente preferiti in funzione della zona in cui si è manifestato l'evento.

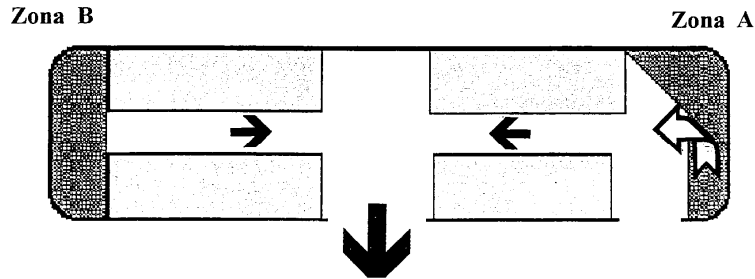



**Figura 89 :** ***Percorso d' esodo in incendio in zona A***

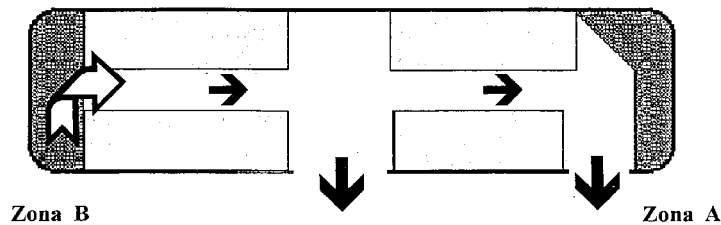



**Figura 90 :** ***Percorso d' esodo in incendio in zona B***

### 7.1.4 Cause dell' incendio dell' autobus 5806

L' evento accaduto conferma ancora una volta che il più pericoloso *punto di fuoco* di questa categoria di automezzi è identificabile nel vano posteriore, dove sono concentrati tutti i principali fattori d' incendio. Nel caso specifico, anche se per un incendio di tipo generalizzato risulta sempre poco agevole identificare la causa primaria che lo ha generato, dall' esame dei danni prodotti può anzitutto identificarsi una attendibile *linea di fuoco* che inizia in prossimità della coppa dell' olio motore.
Tale ipotesi non solo trova conferma da quanto dichiarato dall' autista nel tentativo di spegnere le fiamme, ma consente anche di escludere che la causa dell' incendio sia di tipo meccanico per le seguenti considerazioni :

- ✓ in questa zona non sono presenti componenti meccanici, fissi o con organi rotanti, la cui rottura o grippaggio possa dar origine a scintille o a superfici calde tali da costituire una sorgente d' ignizione per i vari materiali combustibili presenti;
- ✓ una eventuale fuoriuscita di liquido combustibile, a causa di perdite o rottura di tubazione, richiederebbe per poter generare un principio d' incendio anche la presenza di un energico innesco derivante, nel caso specifico, solo da una improbabile contemporaneità di un guasto di tipo elettrico.

Innanzitutto la segnalazione di temperatura regolare probabilmente già quando l'incendio si era innescato lascia presagire, confortati anche dai dati rilevati dalla SCU, che la zona dell' idroventola è stata coinvolta in un secondo momento. Molto più concreta risulta invece la possibilità che l' incendio abbia avuto origine per un guasto di tipo elettrico verificatosi nel circuito di uno dei componenti collegati alle batterie e pertanto in grado di produrre tale tipologia di danni. Sono state pertanto verificate le condizioni dei due alternatori, del motorino di avviamento e della centralina del preriscaldo, senza rilevare particolari anomalie o presenze di corto circuito, non sono state neanche rilevate sfiammature lungo il percorso dei relativi cavi di collegamento, ormai privi di coperture e guaine isolanti, ed in particolare nei punti di ancoraggio dove le staffette metalliche risultano integre  (fig. 91).

**Figura 91 :** ***Staffette metalliche di ancoraggio per i cavi di collegamento***

A seguito di quanto precedentemente indicato, la più probabile causa dell' evento è da attribuire ad un anomalo funzionamento di un alternatore e pertanto le varie fasi che hanno determinato l' incendio possono così riassumersi :

- ✓ l' alternatore n ° 2 produce una eccessiva corrente di carica alle batterie con conseguente surriscaldamento del cavo di collegamento al teleruttore di avviamento e ricarica, che a sua volta non è intervenuto nell'interruzione dell'alimentazione per un malfunzionamento;
- ✓ il surriscaldamento provoca la fusione della copertura isolante del cavo che in tali condizioni emette vapori infiammabili in buona parte contenuti all' interno della guaina di plastica;
- ✓ anche la guaina di plastica comincia a fondersi, specie nei punti di contatto con il cavo, emettendo ulteriori vapori infiammabili;

- ✓ il cavo, privo di copertura isolante ed in tensione, entra in contatto con una superficie metallica generando scintille, in ogni caso di energia sufficiente per attivare l' incendio dei vapori prodottisi.

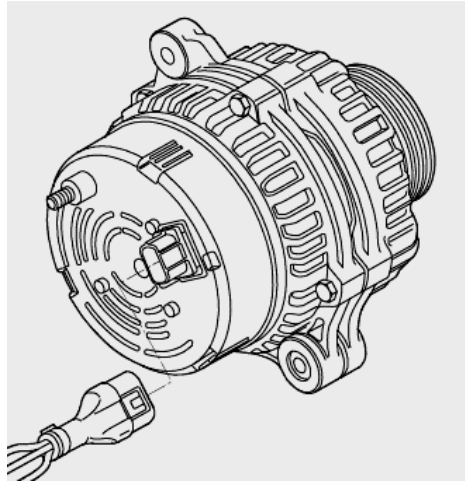



**Figura 92 :** ***Vista prospettica alternatore***

**Tabella 83 :** ***Caratteristiche alternatori***

| Fornitore | BOSCH 28 V 40 ÷ 90A |
|---|---|
| Tensione nominale | 28V |
| Erogazione nominale di corrente | 90A |
| Corrente a temperatura ambiente 25 ° C | 1800 RPM/40A |
| Corrente tensione nominale | 6000 RPM/10A |
| Senso di rotazione | orario, vista da puleggia |
| Peso | 7.8 kg |

A questo punto l' incendio, per la quantità di materiali combustibili presenti nella zona e senza alcun intervento di spegnimento, si intensifica e si propaga facilmente:

- ✓ prendono fuoco la guaina e la tubazione del gasolio, entrambe di materiale plastico, facendo mancare il carburante al motore che si spegne, come indicato dall' autista e dai dati della centralina SCU;

- ✓ il gasolio in fiamme si riversa sul carterino centrale incendiandone il rivestimento spugnoso, anch' esso di materiale facilmente combustibile;
- ✓ prende fuoco l' olio idraulico, che ormai fuoriesce dalla tubazione dell' idroventola, riversandosi sul carterino di sinistra producendo deformazioni e parziale fusione dello stesso;
- ✓ l' incendio si generalizza nella parte posteriore del mezzo, coinvolgendo tutti i materiali combustibili, estendendosi alle parti in vetroresina della carrozzeria.

La causa ipotizzata trova ulteriore supporto nella verifica dello stato delle batterie (fig. 93), delle quali la prima presenta evidenti emissioni di vapori acidi dovuti alla eccessiva ricarica.

**Figura 93 :** ***Stato delle batterie***

Si ritiene opportuno segnalare che l' autista di un medesimo veicolo della CTP, con numero aziendale 5810, in data 24.07.07 rientrava in deposito segnalando l' improvviso intervento dell' impianto antincendio: un accurato controllo evidenziava che tale intervento era stato determinato dal surriscaldamento dei cavi elettrici di un alternatore per eccessiva carica fornita alle batterie. Dalla scheda tecnica degli interventi effettuati

su detto veicolo risulta inoltre che per la stessa ragione nei mesi di Marzo e Novembre/06 e Gennaio/07 era stato sostituito un alternatore. In considerazione che gli eventi descritti indicano una linea di tendenza del principio d' incendio riconducibile ad anomalie degli alternatori, per gli effetti che ne possono derivare, risulta evidente la necessità di effettuare una verifica straordinaria sullo stato di tutti gli alternatori installati su tale tipologia di autobus dei teleruttori, segnalando nel contempo alla ditta costruttrice quanto verificatosi, al fine di condurre una specifica indagine sugli apparecchi in questione.

## 7.2 L'INCENDIO DELLA 5811

L'analisi dell'incendio e degli effetti prodotti dall' incendio dell' autobus, avente matricola aziendale **5811** avvenuto il 04.11.2007 e andato completamente distrutto, così come la 5829, può essere invece utile per focalizzare l'attenzione sui materiali di costruzione degli autobus Iveco, ed in particolare, sulla loro infiammabilità; risulta evidente, come ben si evince dalla documentazione fotografica allegata, che le fiamme abbiano interessato completamente l'autobus, distruggendo totalmente tutto l'arredamento interno, dal pavimento al soffitto, ivi compreso il cruscotto con la strumentazione, l'impianto elettrico, la copertura del tetto in vetroresina, non presenta invece danni apparenti quanto installato al di sotto del pianale stesso, come il telaio, le batterie e pneumatici.

**Figura 94 :** ***Incendio totale dell'autobus 5811***

**Figura 95 :** ***Interno dell'autobus***

**Figura 96 :** ***Vano motore***

### 7.2.1 Analisi dei danni 5811

In seguito all' evento il veicolo è risultato totalmente incendiato infatti dalle immagini risulta ben evidente che :

- ✓ il *rivestimento esterno* è completamente deteriorato, con la completa fusione di copertura, finestrini e vetrature, porte, pannelli superiori della fiancata, mentre per quelli sulle fiancate inferiori, se in lega leggera, hanno subito danni più lievi se in composito presentano la completa fusione della resina della matrice e parte delle fibre invece ancora visibili;
- ✓ la *parte posteriore* è completamente danneggiata con fusione di testata posteriore, portellone motore, vetratura, gruppi ottici posteriori;
- ✓ l' *interno* presenta danni estesi, nel compartimento passeggeri infatti per la presenza di materiali come compensato multistrato, resina plastica e resina poliestere, si è verificato un'intensificazione dell'incendio, ne consegue che l'interno e' completamente rovinato mentre hanno resistito all'elevata

temperatura solo le parti metalliche in acciaio come l'intelaiatura dei sedili, mancorrenti orizzontali e verticali. Del posto guida resta solo lo scheletro metallico dello sterzo e l'intelaiatura del sedile mentre non sono più riconoscibili la copertura del sedile, il divisorio in plastica tra autista e passeggero, la plancia dei comandi, il parabrezza, il finestrino laterale e la tendina annessa. Nella zona adiacente al vano motore si è invece avuto il collasso della copertura sulla panchina dei sedili posteriori, mentre hanno resistito le parti metalliche come la reticella dell'impianto di climatizzazione e la tenuta del tubo di scappamento, che risulta ben isolato;

- ✓ nell' *interno del vano motore*, l'innalzamento della temperatura è stato così notevole da portare alla fusione della lega leggera come nel caso del manicotto della ventola; da notare sul lato *sinistro* la fusione della ventola in plastica mentre permane la griglia protettiva metallica, la tubazione dell'aria scollegata a causa della fusione dei manicotti di gomma, per il sistema di trasmissione idrostatica non risulta più visibile la sonda posta superiormente al filtro dell'olio dell'idroventola e il collegamento tra filtro e pompa che avviene con tubazioni in parte metalliche, infine si è avuta la fusione della tubazione dell'acqua in plastica che consente il collegamento allo scambiatore di calore utilizzato per raffreddare l'olio motore; sul lato *destro* si è avuta la liquefazione del manicotto in gomma dell'alloggio del filtro dell'aria e il conseguente scollegamento, i filtri del carburante, non più identificabili, sono stati spazzati via completamente da un esplosione che ha compromesso anche i comandi di avvio e spegnimento del motore, tutte le tubazioni corrugate in plastica sono liquefatte.

### 7.2.2 Considerazioni sulla propagazione degli incendi e materiali presenti

Indipendentemente dalla fase di ignizione, cioè dal come e dove l'incendio abbia avuto origine, la fase di sviluppo è stata determinata da un numero di fattori principalmente legati alle caratteristiche dei materiali coinvolti. In uno studio sugli incendi di un autobus può essere in generale utile esaminare automezzi simili, in modo di tentare di risalire alla tipologia dei materiali e alle loro caratteristiche di comportamento al fuoco, prelevando piccoli campioni dei materiali di arredo (o nel caso sia presente, come per veicoli di classe III, del tessuto delle tendine applicate ai finestrini, dei rivestimenti dello schienale e del sedile delle poltroncine). Con le prove effettuate sui campioni si possono evidenziare le velocità di combustione (certamente elevate) presentate dai materiali (tessuti sintetici impiegati), la temperatura di accensione (bassa) e il rilascio di gocce infiammate, cosa che non stupisce essendo questi componenti dell'arredo ad indice di pericolosità elevata e frequentemente ricorrenti in casistiche degli incendi. Nel caso siano presenti dei *tendaggi* in materiali tessili, questi sono da considerarsi i componenti più pericolosi dell'arredamento in quanto, essendo installati in posizione sospesa, presentano una facilità di innesco del fuoco, bruciano su entrambe le facce e facilitano la propagazione dell'incendio sia verso l'alto per contatto diretto che verso il basso per distacco di parti incendiate. Ed altrettanto pericoloso risulta, se presente, il *rivestimento* tessile dei *sediolini* che, specie se accoppiato ad uno strato di imbottitura in foam sintetico, costituisce un mezzo di rapidissima propagazione dell'incendio. Infine tutti i *rivestimenti interni* del soffitto, delle pareti e fiancata superiore dell'autobus sono realizzati con pannelli in materiale plastico combustibile e compositi, che presentano valori più o meno

elevato del potere calorifico, che emettono una quantità di fumi tossici notevolmente superiore a quella dei combustibili tradizionali e che per le intercapedini presenti possono anch'essi bruciare su entrambe le facce. Elevata appare anche la pericolosità della parte di *pavimento* sottostante i sediolini e di quello del corridoio, costituito da pannelli in compensato multistrato di legno di betulla e collanti fenolici, che risulta di ignifugazione insufficiente : da semplici prove effettuate su due piccoli campioni prelevati, si è constatato che essi bruciano con fiamma in presenza di una sorgente di ignizione e quindi non risultano appartenere alla categoria dei materiali flame resistance.
Da notare che il gruppo motopropulsore risulta isolato dal rivestimento in resina poliestere dell'abitacolo tramite una paratia sandwich costituita da un *pannello di coibentazione* in lana di vetro dello spessore di circa 20 mm protetti da un rivestimento esterno di alluminio che impedisce l'impregnazione con combustibile, olio lubrificante o con qualsiasi altro tipo di fluido infiammabile. Questo materiale, viene dichiarato sia termoisolante e fonoassorbente, consentendo la minimizzazione degli effetti termici e acustici attenuando la rumorosità verso l'interno, sia autoestinguente e a bassa propagazione di fiamma. Sebbene questo materiale dovrebbe avere una buon comportamento al fuoco, avendo in generale la lana di vetro una classe di reazione al fuoco compresa tra 0 e 1 a seconda dei rivestimenti e non generando fumi o gas tossici in caso di incendio, in realtà questo tipo di protezione non ha svolto adeguatamente la funzione di coibentazione in quanto si è rapidamente degradata al contatto con elementi rigidi non avendo una buona resistenza all'impatto e alla manipolazione. Ed infatti non è insolito notare sfaldamenti o deterioramenti del pannello durante le ordinarie operazioni di manutenzione o smontaggi del motore con conseguente inadeguatezza per lo scopo previsto.

**Figura 97 :** ***Sfaldamenti del pannello di isolamento in autobus funzionante***

Per quanto riguarda i *luoghi*, lo stesso autobus può essere ben assimilato ad un locale chiuso e poco o affatto ventilato. Al momento dell'incendio, le porte dell'autobus a servizio dei viaggiatori, benché aperte non potevano assicurare una sufficiente ventilazione nell'abitacolo : una ventilazione dell'incendio si è instaurata solo quando sotto l'azione dei gas caldi si è raggiunto il punto di fusione delle calotte di plastica delle due aperture a soffitto, che hanno così funzionato come veri e propri evacuatori di fumo.

### 7.2.3 Sviluppo dell'incendio

A questo punto, ritenendo che la ricostruzione dell'andamento dell'incendio sia sufficientemente in armonia con quanto dichiarato dalle

persone coinvolte e con i danni riscontrati e tenendo conto in particolare che :

- ✓ al momento dell' intervento di spegnimento le fiamme erano localizzate nella parte anteriore dell'autobus ed interessavano principalmente il rivestimento in vetroresina della parte terminale del tetto e dei montanti laterali del lunotto, entrambi bruciati parzialmente;
- ✓ in tal momento tutti gli arredi interni risultavano ormai completamente distrutti dal fuoco;

quanto indicato lascia ben supporre che l'incendio si sia sviluppato inizialmente nella parte posteriore del mezzo facendo presupporre la presenza di un innesco localizzato più precisamente, nel vano motore.

Nel momento in cui le fiamme, dopo la fase iniziale dell'incendio raggiungono il compartimento passeggeri un ipotetico ma sufficientemente attendibile scenario che possa rappresentare lo sviluppo dell'incendio in questione, può essere così sintetizzato :

- ✓ la fiamma certamente coinvolge uno dei materiali ad elevata velocità di combustione, identificabile dai sediolini (o se presenti, dalle poltroncine o dal tessuto sintetico delle tendine), che a loro volta si infiammano;
- ✓ il fuoco trasmesso da un sediolino all'altro (o da una tendina ad a una poltroncina o viceversa), velocemente incomincia a diffondersi nell'abitacolo seguendo la via preferenziale dei materiali compositi (o tessili) : il calore che si sviluppa fa aumentare rapidamente la temperatura interna dell'autobus ed inizia a formarsi una coltre di fumo caldo che inizia a scorrere lungo il soffitto e le pareti cercando una via d'uscita;

- ✓ le gocce infiammate rilasciate dalla combustione dei sediolini (o di poltroncine e tendine) cadono sui rivestimenti del pavimento, che a loro volta incominciano localmente a bruciare;
- ✓ la sollecitazione termica provoca la deformazione ed il distacco dei pannelli in plastica della copertura superiore che precipitano sul pavimento dell'autobus alimentando e diffondendo la combustione in atto;
- ✓ si può supporre che, delle due calotte di plastica posizionate sul tetto dell'autobus, la prima a fondersi sia stata quella posteriore, dando così origine a una condizione di preflash-over che ha di poco anticipato l'incendio generalizzato (determinato dalla fusione della calotta anteriore e dalla rottura dei vetri);
- ✓ dopo la fusione delle calotte in plexiglass delle due aperture del soffitto si instaura una prima ventilazione dell'incendio : incominciano ad essere espulsi con violenza i primi gas caldi ma nel contempo attraverso le porte viene aspirata dell'aria fresca che alimenta maggiormente la combustione che si estende anche al tetto dell'autobus;
- ✓ si frantumano tutti i vetri dell'autobus, l'incendio diventa generalizzato, è il momento del flash-over e ciò che resta dei materiali di rivestimento ed arredo brucia completamente (con fiamme che si sviluppano sul tetto e fumi caldi che fuoriescono dalle aperture e sollecitano termicamente la struttura metallica che comincia a deformarsi, poi si instaura una migliore ventilazione ed il fumo sotto l'azione propulsiva del fuoco ancora in atto, si diffonde verso l'alto mescolandosi all'aria e via via raffreddandosi);
- ✓ successivamente l'incendio, nella fase di raffreddamento, viene completamente spento dall'intervento dei Vigili del Fuoco.

#### *7.2.3.1 Tempistica*

In base agli accertamenti compiuti e prove su scala reale già effettuate in letteratura hanno consentito di rilevare i seguenti risultati sulla tempistica di sviluppo degli incendi degli autobus :

- ✓ nel caso in cui l'incendio si verifichi nel motore, l'incendio si espande alle altre parti interne del veicolo dopo circa 5 minuti;
- ✓ indipendentemente dall'avvio del fuoco per una qualsiasi causa è stato verificato che l'incendio totale di un automezzo si sviluppa dopo 20-30 minuti circa se si tratta di autobus;
- ✓ nel caso in cui l'incendio si origini all'interno del veicolo e all'esterno del vano motore, si sviluppano sostanze tossiche entro 3 minuti circa, per la presenza dei materiali di allestimento;
- ✓ nel caso di perdita di carburante con formazione di una pozza, in cui si avvia l'incendio dell'infiammabile, si può determinare un incendio globale entro un periodo di 30-60 secondi;
- ✓ l'incendio genera condizioni critiche per le persone presenti entro brevi periodi di tempo che solitamente non consentono l'arrivo dei soccorsi.

In base alle considerazioni viste, nella figura successiva, possiamo fornire un probabile schema dello scenario di sviluppo dell'incendio e del coinvolgimento dei vari elementi a seguito dell' espansione delle fiamme :

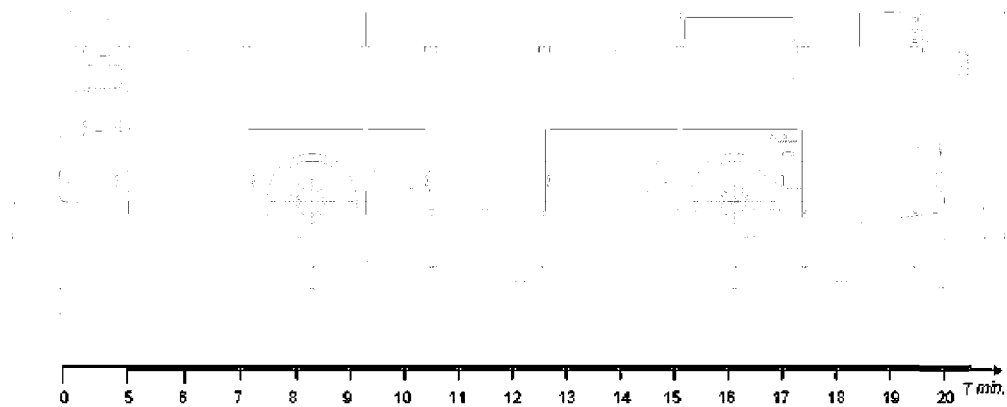



**Figura 98 :** ***Schema tempistica della propagazione***

In un periodo di tempo che va da zero a 5 minuti quindi si determina la propagazione dell'incendio dal vano motore alla parete del pentaposto posteriore, avendosi quindi una resistenza massima della paratia di coibentazione pari a 5 minuti; successivamente si determina la propagazione delle fiamme verso il resto del veicolo, che essendo lungo 10,795 metri, avviene con una velocità stimabile intorno ai 100 mm/min. Nella rappresentazione si è utilizzata per la scala temporale nell'abitacolo una suddivisione in parti uguali con incrementi di un minuto; questa schematizzazione è da ritenersi valida in ipotesi semplificativa di propagazione lineare dell'incendio ma è piuttosto realistica visto l'uniforme distribuzione di analoghe tipologie di materiali all'interno del veicolo. C'è infine da aggiungere che nel caso di autobus a tre porte, l'incendio raggiunge in pochi minuti la porta posteriore del veicolo facendo venir immediatamente meno uno delle possibili vie d'uscita.

### *7.2.3.2 La simulazione degli incendi degli autobus*

Per valutare le conseguenze di un incendio ed effettuare utili verifiche per lo studio dei rilasci di sostanze ed energie sono disponibili oggi sia alcuni algoritmi di calcolo, come ad esempio le curve temperatura-tempo per la determinazione della resistenza al fuoco, ossia delle curve parametriche che mostrano il carico incendio e che tengono conto della geometria in cui si sviluppa l'incendio, delle proprietà delle pareti delimitanti la zona interessata e della ventilazione presente, sia modelli informatici che permettono di studiare l'evoluzione di un incendio fornendo indicazioni sull'andamento nel tempo della temperatura dei gas, sulla stratificazione dei gas di combustione e dei fumi nei volumi interessati dall'incendio. L'applicazione di questi modelli richiede una previsione delle modalità di sviluppo dell'incendio, mediante la definizione della curva di rilascio termico, costruita dall'analista o ricavata sperimentalmente, che a differenza del carico d'incendio rappresentante soltanto l'energia disponibile complessivamente sotto forma di materiale suscettibile di bruciare presente nel compartimento, definisce la potenza dell'incendio in ogni sua fase fornendo le modalità di rilascio nel tempo di questa energia consentendo di caratterizzare compiutamente un incendio [41],[75],[117]. I metodi ingegneristici per la previsione meccanica e termica della risposta all'incendio dei vari elementi esposti e la valutazione della propagazione possono prevedere : o formule manuali per situazioni estremamente semplificate specie per calcoli preliminari, o metodi sperimentali con i quali noto il comportamento ai test e procedure di prova di conferma alle norme prescrittive di singoli elementi, si può dedurre la risposta strutturale, utilizzando un modello che rappresenta l'incendio secondo una curva standard, o infine modelli automatici rappresentanti matematicamente il comportamento degli elementi, da

risolvere numericamente ad esempio attraverso gli elementi finiti per situazioni più complesse [41].
Le simulazioni attraverso la CFD ossia la Computational Fluid Dynamics (fluido dinamica numerica) possono essere usate come strumenti predittivi delle condizioni risultanti di un incendio che si verifica in un autobus e sono particolarmente adatte per il controllo della diffusione dei fumi e del calore all'interno del veicolo. Attraverso l'utilizzo di un fire dynamics simulator versione 4 (FDS4) sono stati simulati diversi scenari per l'analisi della diffusione del calore e del fumo che hanno visto le fiamme partire dal pentaposto posteriore e sono state confrontate le configurazioni con botole sul tetto aperte o chiuse e porte aperte o chiuse [75]. I modelli utilizzati indagano sulla soluzione del problema suddividendo il volume in una griglia numerica e per ogni cella della griglia calcolano la soluzione delle equazioni di conservazione della massa e dell'energia, una volta fissate le condizioni al contorno come le proprietà dei materiali (temperatura di accensione, conducibilità termica, calore specifico, densità) e il tasso di rilascio del calore per unità di superficie (schematizzato attraverso una funzione a scalino ad esempio che rappresenti i dati di misurazione, vedi nella fig.), le condizioni del vento e il fuoco iniziale.

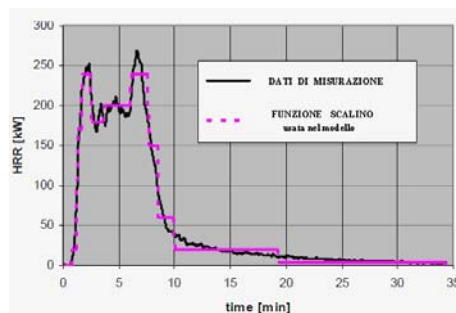



**Figura 99 :** ***HRR del poliuretano***

*7.2.3.2.1 Risultati delle simulazioni : effetti dell' apertura delle botole del tetto.*

Un confronto della distribuzione del fumo con le botole aperte o chiuse è mostrato nella figura successiva :

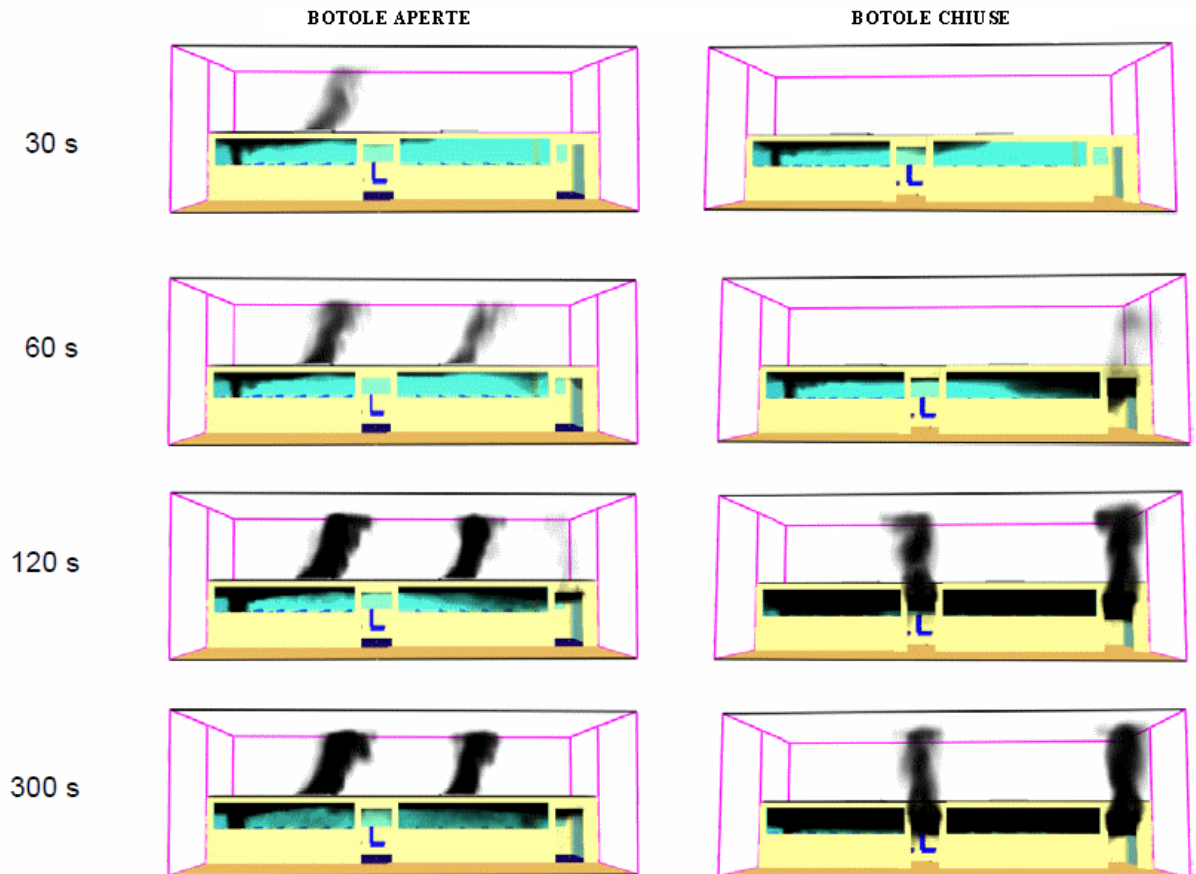



**Figura 100 :** ***Confronto della distribuzione del fumo a botola aperta o chiusa al variare del tempo dall' ignizione.***

Lo strato di gas si diffonde molto più vicino al pavimento quando le botole sono chiuse : ciò non rappresenta una sorpresa ma enfatizza l'efficienza delle botole nella ventilazione dei fumi. Pertanto un opportuno sistema elettrico azionato dal conducente è da considerare un'interessante opzione per assicurare una ventilazione ottimale dei fumi in un incendio. Questo potrebbe essere molto utile per migliorare le condizioni all'interno del bus, quando vi è un incendio, ma l'autobus ha bisogno di continuare a guidare, ad esempio, nelle gallerie.

### *7.2.3.2.2 Effetti delle aperture delle porte*

L'importanza della ventilazione dei fumi attraverso le porte è illustrata nella figura seguente, in cui nella colonna di sinistra le porte sono aperte, mentre nella colonna di destra le porte sono chiuse, mentre le botole del tetto sono chiuse in entrambi i casi.

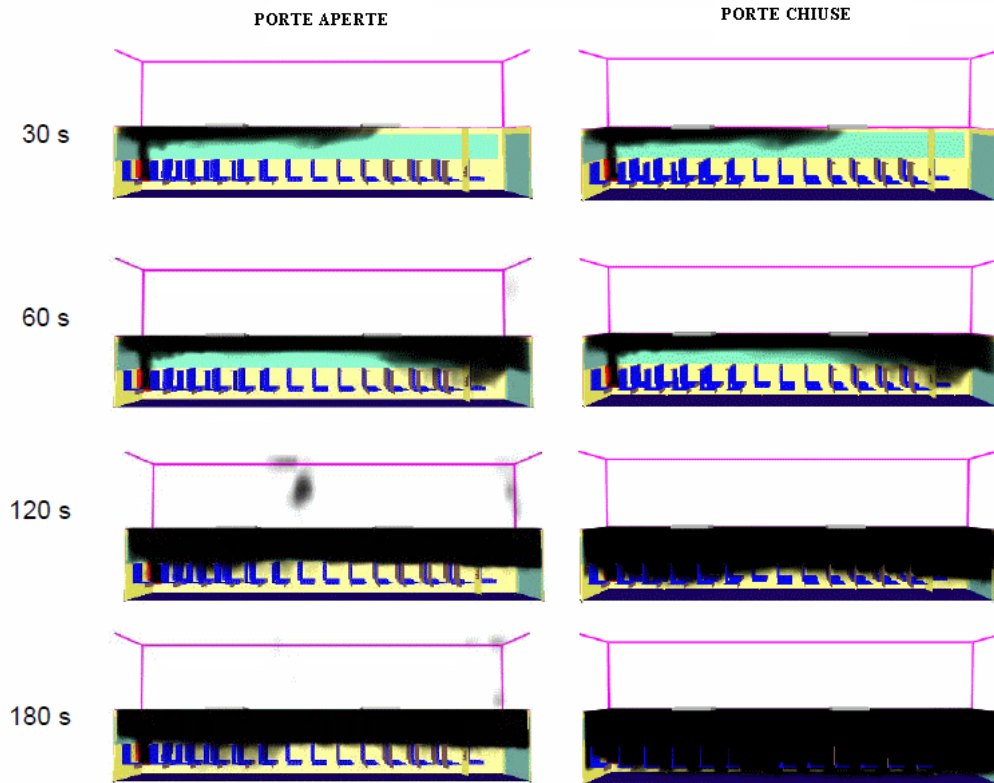



**Figura 101 :** ***Confronto della distribuzione del fumo tra porte aperte e chiuse in differenti momenti.***

Per illustrare la densità dei fumi pesanti, quando le porte sono chiuse, il bus è stato tagliato in modo tale che la parete destra è stata rimossa dalla visualizzazione, per cui tutto ciò che si trova sulla parte destra del bus scompare dall'illustrazione e i pennacchi di fumo che escono dalle porte non si vedono nelle immagini della colonna di sinistra. Da notare che l'intero autobus si riempie di fumo entro 3 minuti dal momento in cui le fiamme giungono nel vano passeggeri e la parte superiore verrà rapidamente oscurata, cosa che accadrà anche se le botole e le porte sono

aperte. Per cui le aperture di emergenza poste nella parte superiore delle porte verranno oscurate entro un minuto dopo che il fuoco è penetrato nel vano, per cui potrebbe essere una buona idea spostare i dispositivi di apertura di emergenza in posizione inferiore.

*7.2.3.2.3 Distribuzione delle fiamme*

Vediamo ora una simulazione di come potrebbero propagarsi le fiamme nel bus una volta giunte nel vano passeggeri. Da sottolineare comunque che la propagazione delle fiamme è un fenomeno molto complesso, che richiederebbe la formulazione corretta e risoluzione di equazioni che descrivono la diffusione della fiamma e la conoscenza delle specifiche caratteristiche dei materiali presenti e della loro combustione. Per cui l'analisi svolta vuole solo dare delle indicazioni qualitative del comportamento previsto e non i dati quantitativi che descrivono esattamente la propagazione del fronte di fiamma nell' autobus.

Le fiamme, giunte nel compartimento passeggeri, si diffondono prevalentemente nella parte superiore del bus secondo la seguente tempistica:

- ✓ dopo 2 minuti le fiamme iniziano a diffondersi al tetto sopra al finestrino posteriore;
- ✓ dopo 3 minuti le fiamme si diffondono lungo il tetto;
- ✓ dopo 4 minuti le fiamme hanno completamente avvolto il tetto nella parte posteriore del bus ma nessun sediolino è stato ancora acceso;
- ✓ dopo 5 minuti le fiamme fuoriescono dalle botole e dalla porta posteriore, ma la diffusione si concentra ancora nella parte superiore e le sedie del pentaposto posteriore hanno preso fuoco;
- ✓ dopo 6 minuti si ha il flashover e tutti i materiali combustibili presenti nell'autobus verranno presto combusti.

Visto il percorso principale seguito dalle fiamme, appare evidente che una limitazione della quantità di materiale combustibile lungo il tetto rallenterebbe la propagazione del fuoco nell'autobus. Nelle figure successive viene data la rappresentazione grafica di quanto esposto.

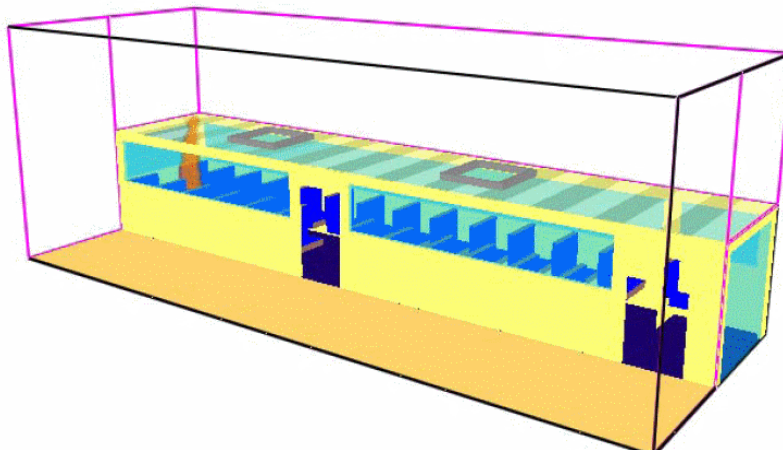



**Figura 102 :** ***Diffusione delle fiamme dopo 2 minuti***

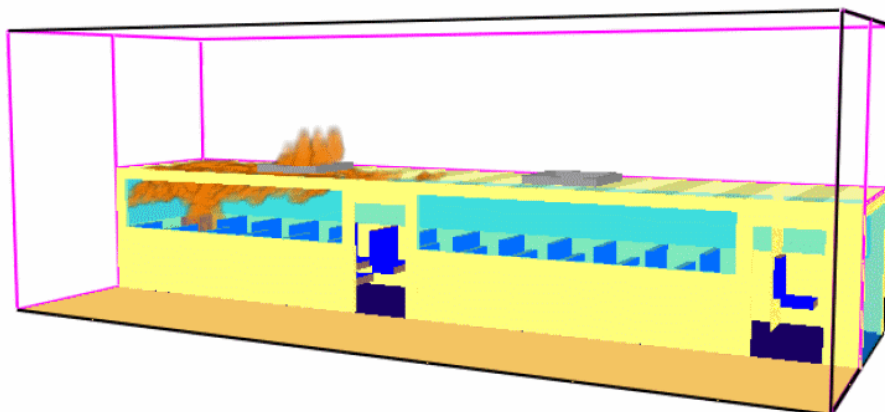



**Figura 103 :** ***Diffusione delle fiamme dopo 4 minuti***

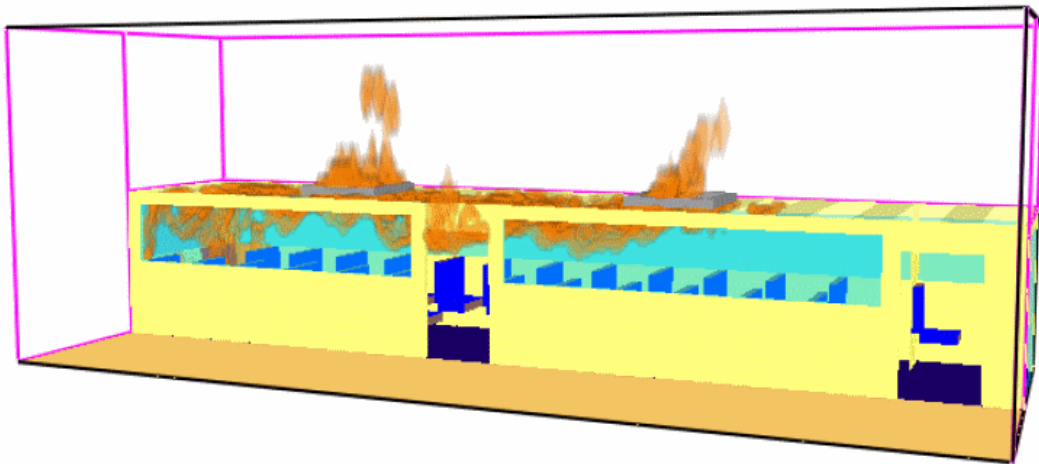



**Figura 104 :** ***Diffusione delle fiamme dopo 5 minuti***

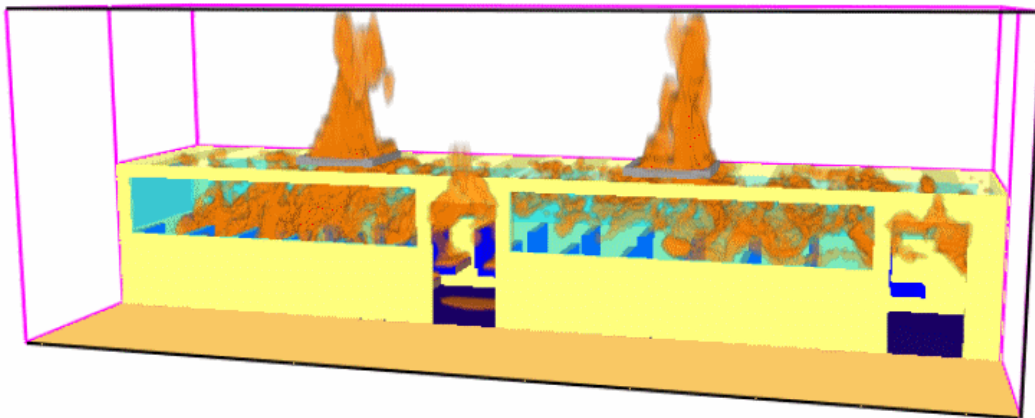



**Figura 105 :** ***Diffusione delle fiamme dopo 6 minuti***

Le simulazioni viste, nonché test effettuati su scala reale sugli autobus, mostrano che i fumi e i gas tossici, raggiungono livelli letali nel vano passeggeri in pochi minuti nonostante l'incendio abbia avuto inizio al di fuori di esso, ossia nel compartimento motore. Questo indica alcuni difetti caratteristici degli autobus :

- ✓ *il fumo è facilmente trasportato nella zona passeggeri* e pertanto sono auspicabili delle partizioni migliori tra i vari comparti;
- ✓ *la rapida diffusione del fuoco alla zona passeggeri e ai materiali interni* che dimostra la necessità di regole più rigorose per quel che riguarda la resistenza al fuoco dei materiali interni e che la

sicurezza antincendio degli autobus è in ritardo rispetto a quella di altri veicoli;

- ✓ *il tempo a disposizione per la fuga è molto limitato* per cui un sistema di rilevamento antincendio efficace farà risparmiare tempo prezioso se installato in modo da dare rapidamente l'allarme incendio o di eventuali surriscaldamenti.

Il metodo di prova utilizzato per testare il comportamento al fuoco dei materiali interni agli autobus l' ISO 3795 appare inadeguato per discriminare tra materiali aventi prestazioni di sicurezza antincendio diverse e infatti sebbene i prodotti usati per gli autobus e soddisfano le attuali direttive europee sui requisiti dei veicoli essi in realtà non soddisfano :

- ✓ i requisiti richiesti per la sicurezza dei passeggeri dei treni né in termini di rilascio di calore né in termini di fumi;
- ✓ i criteri previsti per la produzione dei fumi nelle navi passeggeri;
- ✓ alcuni prodotti non sarebbero consentiti in spazi pubblici o vie di evacuazione degli edifici in Europa.

Pertanto il metodo attualmente utilizzato per testare i materiali produce un basso livello di sicurezza per i passeggeri di un autobus in caso di incendio e risulta auspicabile sia un miglioramento del metodo di prova che l'adozione dei requisiti esistenti in altri settori.

In definitiva la maggior parte degli incendi sugli autobus inizia nel compartimento o nelle aree circostanti ma non sono da escludere i sistemi elettrici e le ruote.

#### *7.2.3.2.4 Raccomandazioni*

Allo scopo di ridurre il rischio incendio degli autobus, alla luce delle considerazioni emerse dalla simulazioni, possono essere date delle raccomandazioni sui miglioramenti :

**1) alla progettazione** :

- ✓ separazione dei componenti dove esiste il rischio di una pericolosa combinazione di calore, combustibile e ossigeno;
- ✓ isolamento di tutte le superfici calde nel compartimento motore (isolamento termico);
- ✓ abbassamento della temperatura media nel compartimento motore e altri posti vitali per incrementare la vita dei materiali polimerici;
- ✓ separazione dei sistemi elettrici in sottosistemi che possono facilmente, magari automaticamente, essere disconnessi in caso di rischio incendio e un sistema di luci esterne che aiuti nella guida dell' autobus se necessario;
- ✓ creazione di nuovi standard per i fusibili;
- ✓ riduzione della fatica meccanica e altri effetti fisici che possono condurre a un incendio;
- ✓ ottimizzazione degli spazi minimi nel motore per una più alta qualità di manutenzione.

**2) alle procedure organizzative :**

- ✓ garantire qualità nel servizio di manutenzione e nelle riparazioni attraverso un'adeguata formazione del personale, un' appropriata scelta dei pezzi di ricambio, adeguati tempi di riparazione ed assicurare un' istruzione base sui rischi d'incendio allo staff tecnico;
- ✓ istruire i conducenti sul rischio incendio e sull'antincendio.

**3) nei materiali :**

- ✓ imporre requisiti più severi sui materiali interni;
- ✓ migliorare la resistenza dei compartimenti in modo da ridurre la propagazione del fumo e del fuoco;
- ✓ equipaggiare il vano motore di migliori sistemi di rivelazione in combinazione con sistemi di estinzione.

### 7.2.4 Considerazioni finali sui materiali

In definitiva risulta che : i materiali di allestimento e di arredo all'interno dell'autobus, pur avendo caratteristiche idonee per l'applicazione prevista, in osservanza alle norme e alla pratica tecnica in materia, hanno contribuito ad alimentare l'incendio accanto ai rivestimenti esterni di fiancata, facilmente combustibili ed infiammabili, in relazione ai quali la normativa in materia è lacunosa. Il materiale di rivestimento esterno rispetta la regola dell'autospegnimento entro i 120 secondi dalla rimozione della fonte di calore ma nel caso la fonte di calore rimanga attiva, il materiale di rivestimento esterno può finire per alimentare l'incendio, come ad esempio potrebbe aversi per lo sfregamento delle ruote contro l'asfalto ed il loro incendio, cosa non inverosimile ed infatti ciò si verificò durante un increscioso episodio alla stessa CTP nella zona ASI di Giugliano in cui si registrò la morte del conducente asfissiato dai gas prodotti dalla combustione. Infatti in quel caso l'autobus con a bordo il solo autista urtò contro un ostacolo e poi rimbalzò contro un muro dopodiché si generarono delle fiamme per effetto dell'attrito delle ruote posteriori, che continuavano a girare a vuoto sul terreno, successivamente le fiamme dai pneumatici si propagarono alla vettura in breve tempo.
Anche se può riconoscersi una incidenza dei materiali di costruzione utilizzati nella propagazione dell'incendio, bisogna escludere la riconducibilità dell' evento stesso a difetti di costruzione del veicolo in quanto i materiali sono conformi alla normativa esistente in materia, che comunque appare alquanto carente e insufficiente, prevedendo prove di laboratorio che non simulano affatto situazioni reali e non tengono conto di tutti i fattori che si possono verificare nella pratica, quali ad esempio il calore di irraggiamento. Inoltre i materiali di rivestimento interno risultano testati ed approvati dalla direzione generale della

Motorizzazione Civile e risultano conformi alla prescrizione Uni Iso 3795 ovvero, tale materiale ha le caratteristiche che, in caso di incendio, la propagazione del fuoco su di esso non superi la velocità di100 mm al minuto, invece il materiale esterno non risulta testato, né sottoposto a prove di comportamento alla combustione, non essendo previsto alcun controllo ai fini della omologazione ed eseguendo prove di infiammabilità si è rilevato che il materiale di rivestimento esterno lo stesso coefficiente di lenta combustione ovvero velocità di propagazione inferiore ai 100 mm al minuto dei rivestimenti interni per cui anche i materiali di rivestimento esterno presentano un comportamento idoneo alla combustione ovvero resistente alla combustione.

I materiali sono stati sottoposti a prove condotte secondo la Norma-Fiat Auto 50433/01 che vengono rispettate ma che inducono serie riflessioni sui tempi di propagazione dell' incendio in quanto sulla base della ricostruzione logico- temporale degli eventi l'incendio avrebbe distrutto l'autobus nel breve arco temporale di 20 minuti per cui sarebbe opportuno in assenza di normativa sia a livello di singoli Stati membri, che di Comunità Europea, di far riferimento alla normativa degli Stati Uniti in quanto il Dipartimento dei Trasporti americano impone precisi requisiti di resistenza al fuoco, modalità di propagazione di fiamma e densità ottica dei fumi ai vari componenti costruttivi degli autobus e che i materiali utilizzati per gli allestimenti esterni venissero sottoposti ai test ASTM E162 e ASTM E 662.

## 7.3 L'INCENDIO DELLA 5829

Recentemente l' 11.07.2009 ancora una volta su un autobus della CTP, un Iveco Cursor dello stesso tipo del precedente, contrassegnato da matricola aziendale 5829, alle ore 13.50, al termine del servizio di linea

mattutino del turno tra le 07.00 e le 14.00, senza passeggeri a bordo e di ritorno al deposito si è verificato un principio di incendio, che intensificandosi rapidamente distruggeva in breve tempo l'intero veicolo che fino al momento dell'evento aveva funzionato regolarmente senza rilevare anomalie. L'autista quasi in prossimità del deposito di Arzano rilevando dallo specchietto la fuoriuscita di fumo dal lato destro posteriore, ritenendo che l'autobus stesse andando in ebollizione, immediatamente accostò il veicolo e resosi conto attraverso gli sportelli d'ispezione della presenza di fiammelle in corrispondenza del lato destro del vano motore stesso, spense il veicolo, attivò l'impianto antincendio automatico attraverso l'apposito comando dopodiché munendosi degli estintori portatili di bordo tentò di spegnere le fiamme ma nonostante il pronto impiego, non risultò possibile domare le fiamme che oltretutto si sviluppavano con notevole vigore coinvolgendo rapidamente tutto l'automezzo. Dopodiché l'autista provvedeva a dare comunicazione dell'incendio, domato successivamente dai Vigili del Fuoco.

**Figura 106 :** ***Autobus totalmente incendiato***

In questo caso, in cui è stata recentemente instituita un'apposita Commissione d'indagine al fine di accertarne le cause incendio, accertato che l'innesco si sia prodotto all'interno del vano motore, da un attento esame dei rilievi fotografici e delle caratteristiche dell'automezzo, in particolare dell'impianto elettrico di bordo, la cui componentistica è andata interamente distrutta nella parte sovrastante il pianale, dai controlli effettuati sull'autobus del medesimo tipo, dall'esame degli schemi elettrici forniti dal costruttore e dalla documentazione presente in Azienda è risultato che sarebbero da escludersi fattori d'incendio connessi all' impianto elettrico ed in particolare per causa connessa ad un malfunzionamento di uno degli alternatori.

**Figura 107 :** ***Vano motore autobus 5829***

Per cui, visti i componenti che risultano a contatto o in vicinanza di materiali ad alta combustibilità concentrati nella zona in cui si presume

abbia avuto origine l'incendio, a parere dello scrivente, le probabili cause dell'evento potrebbero attribuirsi alla rottura di una cinghia di trasmissione, che dopo aver prodotto fumo per attrito, spezzandosi, a seguito del bloccaggio del compressore dell'aria condizionata per la presumibile rottura di un cuscinetto, avrebbe colpito violentemente e lesionato il serbatoio in materiale plastico dell'olio idroguida, ubicato in posizione immediatamente sovrastante il compressore stesso; nel conseguente trafilamento dal serbatoio dell'olio a bassa temperatura d'infiammabilità e quindi facilmente infiammabile, veniva a contatto con la carcassa surriscaldata, dal precedente grippaggio, del compressore prendendo immediatamente fuoco e in maniera tale che le fiammelle e il calore sviluppato producevano ulteriori danni al serbatoio, consentendo una sempre più copiosa fuoriuscita di olio che, incendiandosi a sua volta e spandendosi in fiamme sul manto stradale, coinvolgeva gli altri materiali combustibili dell'autobus, generalizzando quindi l'incendio; è opportuno precisare, come da testimonianze raccolte, che il fumo rilevato all'inizio dell'incendio risultava molto chiaro, di colore grigio – bianco, caratteristico dell'olio in esame, come del resto constatato con prove empiriche effettuate nel deposito.

### 7.3.1 Considerazioni sull'evento

E' difficilmente ipotizzabile che la banale rottura di una cinghia di trasmissione possa dare origine ad un incendio che si propaghi poi in modo così veloce da comportare in pochi minuti la completa distruzione di un autoveicolo. Purtroppo nel caso in oggetto questo si è verificato per una serie di circostanze accidentali concatenate tra loro e per la disposizione e caratteristiche di combustibilità dei materiali e delle sostanze coinvolti nell'incendio, specie di quelli ubicati all'interno nel

vano posteriore e con particolare riferimento all'olio idroguida tipo TUTELA GI/A che, come da scheda di sicurezza, presenta a norme ASTM una temperatura di infiammabilità di circa 200°C utilizzato nell' impianto idroguida con un quantitativo complessivo in circolo di circa 6,5 litri, contenuto in un serbatoio di materiale plastico. L'ubicazione del serbatoio, il materiale con cui questi è realizzato ed il quantitativo di olio in esso contenuto costituivano una ben evidente condizione di pericolo d'incendio, potenzialmente in grado di arrecare danni, come del resto è avvenuto : questi sarebbero stati sicuramente evitati o limitati in presenza di un serbatoio metallico o di una adeguata protezione da urti accidentali e da gocciolamento.

**Figura 108 :** ***Vano cinghie***

In considerazione che l'azienda CTP utilizza un cospicuo numero di autobus del tipo in questione, salvo estendere l'indagine per gli altri tipi in esercizio al fine di eliminare o quantomeno ridurre la probabilità che tale evento possa non solo ripetersi ma manifestarsi durante il trasporto di

persone e nel caso più malaugurato in luoghi o momenti critici, risulta opportuno definire idonee misure di sicurezza sia tecniche che gestionali in modo da tutelare al meglio l' incolumità delle persone e salvaguardare il bene.
Pur ammettendo che un simile evento sarebbe stato difficilmente ipotizzabile, ciò non esclude la responsabilità progettuale del costruttore che, in riferimento anche alle disposizioni dell' art. 22 del **DLgs. 81/2008** avrebbe dovuto prestare una maggiore attenzione nello stabilire le modalità di stivaggio della sostanza più pericolosa ai fini antincendio presente sull'autoveicolo e per giunta in quantità non esigua. Certamente il miglioramento tecnico delle attrezzature avviene anche a seguito delle segnalazioni di eventi riscontrati dagli utilizzatori e pertanto risulta quanto mai opportuno rendere edotto al più presto il costruttore sulle modalità di quanto accaduto ed urgentemente adottare su indicazioni dello stesso, i necessari accorgimenti tecnici al fine di eliminare o almeno ridurre la fonte di rischio individuata. Sarebbe auspicabile che il costruttore provvedesse all'aggiornamento degli altri autobus dell'azienda, sostituendo il serbatoio in plastica dell'olio idroguida con altro tipo metallico; dovrebbe anche essere cura del costruttore, in attesa di detta sostituzione, fornire un opportuno schermo da installare a protezione del serbatoio stesso o quantomeno fornire precise istruzioni per la sua realizzazione e fissaggio. Per il ripetersi degli incendi su autobus del medesimo tipo si ritiene indispensabile che la ditta costruttrice effettui una specifica indagine sugli organi in questione al fine di scongiurare il ripetersi di simili eventi. Per quanto riguarda l'adozione di particolari misure gestionali risulta evidente la necessità di effettuare operazioni di verifica straordinaria sullo stato di tutti i compressori dell' aria condizionata, causa primaria dell'evento, installati su tale tipologia di autobus nonché delle relative cinghie di trasmissione.

Ulteriori operazioni di verifica e manutenzione di detti organi potranno essere successivamente programmate in funzione del chilometraggio del veicolo con scadenza massima in armonia con quanto previsto dal manuale di uso e manutenzione per le cinghie. Da quanto esposto risulta evidente infine identificare altre possibili condizioni di pericolo presenti sul tipo di autobus in questione, estendendo l'indagine a tutti gli altri tipi utilizzati dall'azienda.

## 7.4 L' INCENDIO DELLA 5842

L' incendio dell'autobus con matricola aziendale 5842, avvenuto il 18.04.2007 non consente considerazioni rilevanti, non risultando il veicolo al momento presente in azienda essendo attualmente in riparazione.

**Figura 109 :** ***Foratura portellone vano motore***

In ogni caso trattasi di vettura in cui si è verificato solo un principio di innesco e dalle immagini risulta che :

- ✓ il *rivestimento esterno* è in buono stato;

- ✓ la *parte posteriore* presenta la rottura del vetro posteriore e la foratura del portellone del motore, in lega leggera, a dimostrazione che il punto di fuoco è il vano motore e che l'incendio si sia propagato con una temperatura tale da portare alla fusione la lega leggera (600 ÷ 700 °C);
- ✓ l' *interno* non presenta danni in quanto l'incendio, di estensione limitata, ha interessato solo la parte posteriore del mezzo;
- ✓ nell' *interno del vano motore*, da notare sul lato *sinistro* la fusione della ventola in plastica mentre permane la griglia protettiva metallica, la tubazione dell'ara scollegata a causa della fusione dei manicotti di gomma, per il sistema di trasmissione idrostatica non risulta più visibile la sonda posta superiormente al filtro dell'olio dell'idroventola mentre il collegamento tra filtro e pompa che avviene con tubazioni in parte metalliche risulta integro, non risultano fusioni della tubazione dell'acqua in plastica che consente il collegamento allo scambiatore di calore utilizzato per raffreddare l'olio motore; sul lato *destro* si è avuta la liquefazione del manicotto in gomma dell'alloggiamento del filtro dell'aria e il conseguente scollegamento, i filtri del carburante risultano in posizione loro consona e le sonde sono ancora collegate anche se risultano parzialmente bruciate.

Teniamo presente che, quando a seguito di un incendio ad un tecnico viene richiesto di ricondurre un "fatto", di cui si conosce soltanto la sintesi degli avvenimenti attraverso relazioni degli organi intervenuti o informazioni testimoniali, ad un "evento" cioè a un fenomeno chimico, fisico, meccanico tecnicamente e scientificamente credibile, coerente e compatibile con il "fatto" ossia in definitiva di esprimersi in merito alle modalità, alla dinamica, alle cause, alla natura e alla magnitudo ed alle responsabilità dell'evento in esame appare fondamentale l' *accertamento*

*tecnico*, che deve avvenire in un ottica futuristica di medio e lungo periodo quando la memoria non sovviene più e che deve necessariamente comprendere la consultazione di tutti gli atti che hanno valenza ai fini della indagine tecnica, la raccolta degli elementi necessari per l'indagine sullo stato dei luoghi, mediante riscontri planimetrici, rilievi grafici e fotografici che tengano conto in particolare delle conseguenze prodotte sulle strutture e che spesso anche sommarie informazioni testimoniali hanno particolare valenza ai fini dell'indagine tecnica per la tempestività con la quale le informazioni vengono raccolte ed infatti le notizie raccolte nell'immediatezza del fatto hanno il pregio di riferire "a caldo" ciò che il testimone conosce, senza interpretazioni soggettive razionalmente rielaborate, o peggio "mediate" in buona o cattiva fede. Pertanto vista la posizione del foro nel portellone sembrerebbe plausibile un guasto al circuito dell' idroventola, ma l'insufficienza di riscontri fotografici e rilievi non consente di esprimersi adeguatamente in merito.

**Figura 110 :** ***Indicazione del posizionamento del serbatoio dell'idroventola***

### *7.4.1 Comando elettronico ventilazione motore*

Il sistema di controllo elettronico del ventilatore EHG ha lo scopo di:

- ✓ regolare la velocità del ventilatore, in funzione della temperatura del liquido di raffreddamento, per mantenere la temperatura del motore nel campo ottimale di funzionamento;
- ✓ risparmiare l'energia necessaria al trascinamento del ventilatore utilizzandolo solo quando è necessario;
- ✓ ridurre la rumorosità in quanto non si hanno brusche accelerazioni del ventilatore;
- ✓ ridurre i tempi d'intervento in caso di brusche variazioni di temperatura.

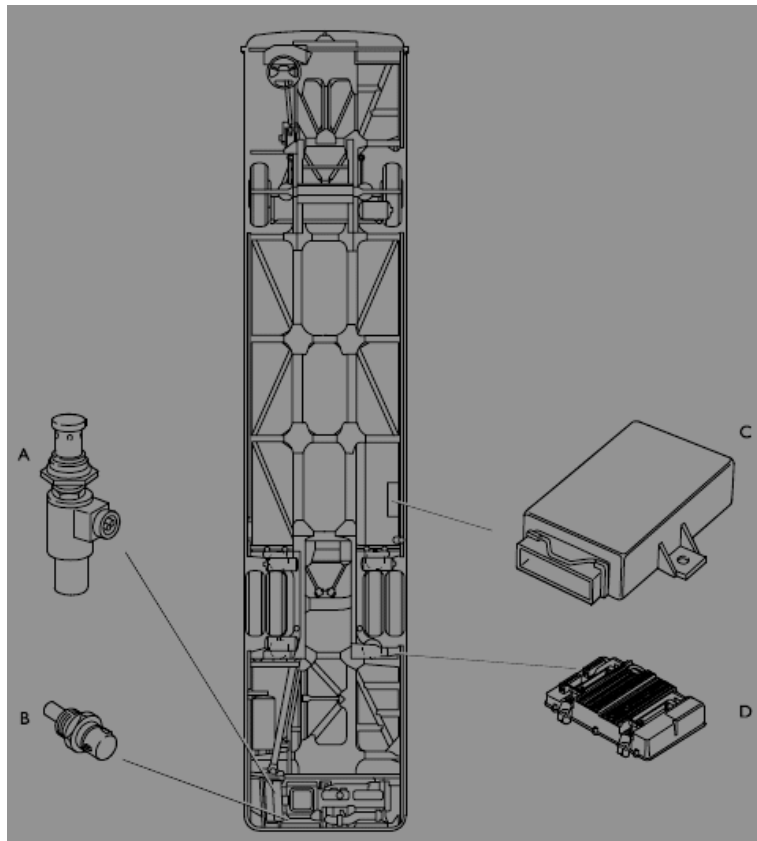



**Figura 111 :** ***Ubicazione sul veicolo dei principali componenti del sistema EHG.***

**Didascalia Figura : A** Elettrovalvola impianto idraulico raffreddamento acqua motore, **B** termostato comando circuito di raffreddamento acqua motore, **C** centralina impianto

trasmissione idrostatica comando ventola di raffreddamento, **D** centralina elettronica periferica per gestione ingresso uscite impianto elettrico.

Il sistema è composto da : una centralina di gestione del sistema, da un motore idraulico, da un termostato e da un pressostato che segnala tramite una spia sul cruscotto l'intasamento del filtro olio idroventola.

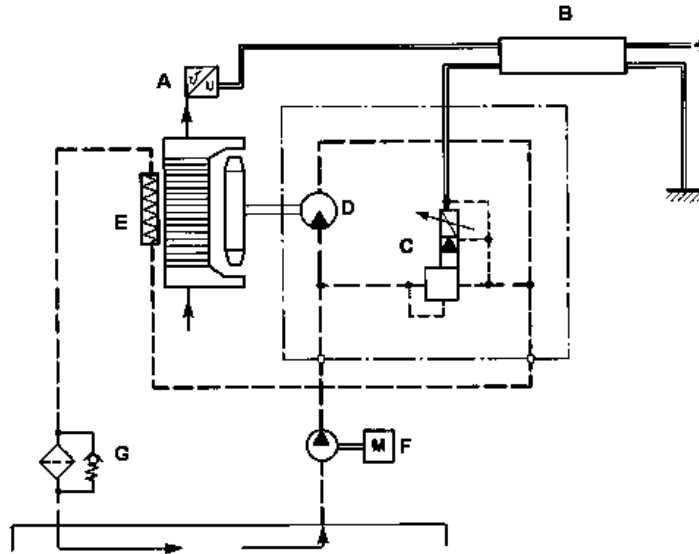



**Figura 112 :** ***Comando elettronico ventilazione motore.***

**Didascalia Figura: A** sensore temperatura acqua, **B** centralina elettronica di comando, ***C*** elettrovalvola proporzionale, **D** motore idraulico, **E** radiatore olio, **F** pompa, **G** filtro.

### 7.4.3 Considerazioni

C'è da osservare che indipendentemente da dove è partito l'incendio, l'olio dell' idroventola è un fattore che, costituisce un notevole carico d'incendio per cui se anche non rientrasse nella causa risulterebbe comunque un elemento che alimenta l'incendio una volta innescato. Varrebbe quindi la pena porre molta attenzione nella compartimentazione di tutto l'impianto vista l'elevata infiammabilità e il quantitativo di olio

presente, suggerendo inoltre alla casa costruttrice l'utilizzo da un lato di opportuni inibitori di fiamma, dall'altro di opportune tubazioni metalliche o di innestare delle valvole di non ritorno che blocchino il flusso in caso di rottura o perdite di una tubazione dell'impianto, infine lo spostamento della vaschetta di contenimento in altro punto. Per l'azienda utilizzatrice converrebbe invece un potenziamento del sistema antincendio Pirò adottando il sistema double o in ogni caso riposizionando il sistema con un avvicinamento del sensore alla zona, che non appare ben coperta dell'impianto di spegnimento.

## 7.5 ANALISI DELLE SERIE STORICHE

Data l' impossibilità di acquisire dati certi relativi agli incendi in cui vengono coinvolti gli autobus, specie quando l'autobus è fonte primaria dell'incendio, sono state prese in considerazione anche le descrizioni di alcuni eventi, significativi per l'attendibilità e quantità delle informazioni acquisite, oggetto di maggior risalto da parte degli organi di informazione, nonché alcuni verificatisi nell'ambito dell'azienda stessa, individuati nell'archivio, che ne evidenziano la vulnerabilità agli incendi. Analizzando diverse serie di eventi, è emerso che :

- ✓ i danni alle persone si sono registrati essenzialmente in autobus di tipo interurbano (classe II) o granturismo (classe III), cioè quelli allestiti per un più confortevole trasporto dei passeggeri e che dispongono di porte di minore ampiezza;
- ✓ che in una fase iniziale dell'incendio risultano *coinvolti* maggiormente gli *impianti elettrici* (vedi l'incendio avutosi nel dicembre 2000 su un autobus della CTP nel deposito di Giugliano, che si sviluppò per un innesco localizzato nella parte anteriore del mezzo per fattori legati all'impianto elettrico, in particolare per

l'alimentazione di alcune utenze in tensione anche ad impianti disinseriti e poste in prossimità del posto di guida in vicinanza con rivestimenti interni di natura molto combustibile o il principio di incendio che si ebbe nel marzo 2002 su un autobus della CTP ad Acerra su un Breda M 230 di tipo suburbano, in cui si incendiò la parte posteriore probabilmente per un corto circuito tra i cavi del cablaggio dell'alternatore e la carcassa del cambio che determinò l'incendio delle guaine poi alimentato dall'olio fuoriuscito dal serbatoio idroguida) e *uno almeno dei combustibili liquidi presenti* a bordo del veicolo (vedi l'incendio del giugno 2001 su un autobus della CTP al capolinea di Qualiano);

- ✓ *l'incendio ha generalmente sempre inizio al di fuori del compartimento passeggeri*, in alcuni casi nella parte anteriore del veicolo in corrispondenza della zona del posto di guida mentre in *prevalenza* ha origine *nella parte posteriore del veicolo* e cioè nel vano motore (vedi l'incendio dell'aprile 2002 avvenuto sulla Autostrada Genova-Livorno con 40 studenti a bordo di un autobus granturismo o il principio di incendio nel luglio 2002 su un autobus Breda M240 di tipo suburbano della CTP al Corso Secondigliano nella parte posteriore destra dell'autobus dove trova alloggio l'impianto dell'aria condizionata in cui si determinò la distruzione del serbatoio olio motore, dell'idroguida, dell'impianto elettrico e tutte le tubazioni del vano motore);
- ✓ la rapida *intensificazione* dell'incendio è *dovuta* chiaramente alla *contiguità di materiali e/o sostanze combustibili*, interne ed esterne al compartimento passeggeri, che presentano una elevata velocità di propagazione e *che generano fumi e gas nocivi* che rendono l'aria irrespirabile ed impediscono la visibilità, generando situazioni di panico (vedi l'incendio del gennaio 2000 su un

autobus della CTP in cui si è registrata la morte del conducente asfissiato dai gas prodotti dalla combustione);

- ✓ in moltissimi casi in cui l'evento si è verificato con i passeggeri a bordo almeno *una delle porte o uscite di sicurezza non ha funzionato* correttamente lasciando intrappolati i passeggeri (vedi ad ex l'incendio del marzo 1994 verificatosi su un autobus interurbano Setra con 54 passeggeri sulla Autostrada A3 nel tratto Salerno-Napoli, all'altezza di Nocera Inferiore in cui, mentre i passeggeri dei posti anteriori fuoriuscirono senza grosse difficoltà, quelli dei posti centrali, in preda al panico, si accalcarono, nello stretto corridoio e infine gli occupanti dei sedili retrostanti non riuscirono a uscire dalla porta posteriore che non si aprì, nel frattempo il fuoco si propagò rapidamente verso la parte centrale del veicolo alimentato dal materiale combustibile dei sedili e rivestimenti, sviluppando sempre più fumo denso che determinò malori per quanti rimasti che non riuscirono a rompere i finestrini per aprire una uscita di emergenza e si registrarono sette vittime i cui corpi furono individuati tutti a ridosso della porta posteriore ritrovata chiusa);
- ✓ infine *è fondamentale per la salvezza dei passeggeri il comportamento del conducente* se incolume (vedi ad ex l'incendio nel luglio del 1999 avvenuto su un autobus della Cotral con 50 passeggeri in marcia sulla Statale Pontina, da Roma verso Latina in cui l'autobus, dopo aver strusciato sulla fiancata contro il guard-rail, per effetto delle scintille che scaturirono dall'impatto prese fuoco e il fumo conseguente avvolse il veicolo in una nube asfissiante intrappolando i passeggeri per diversi minuti; successivamente l'autista infrangendo i vetri consentì a parte del

fumo di uscire, con conseguente miglioramento della visibilità che hanno consentito ai passeggeri di uscire dall'autobus).

## 7.6 ANALISI F.M.E.A.

L' ingegneria dell'affidabilità (reliability engineering), con cui in genere viene analizzata la problematica della affidabilità che un sistema svolga correttamente la propria funzione nel tempo di missione assegnato, attraverso l'uso di alcuni suoi strumenti, come ad esempio gli alberi dei guasti e degli eventi, costituisce anche un utile ausilio nella ricostruzioni delle sequenze incidentali. L'analisi delle cause che possono aver determinato il rilascio di oli infiammabili dell' innesco, ossia l'analisi dei modi di guasto e dei loro effetti condotta sugli incendi accaduti e presi in esame, ha quindi portato all'individuazione di quattro sequenze incidentali tipiche, per ognuna delle quali è stato elaborato un albero di guasto che e' da considerarsi indicativo e non esaustivo (fig.1,2,3,4) in cui ogni sequenza incidentale conduce a un incendio tipico (TOP EVENT).

- ✓ **Tipo 1 flash fire da rottura turbina** : si tratta di un incendio violento di classe B che investe gran parte del vano motore a partire dalla turbina.

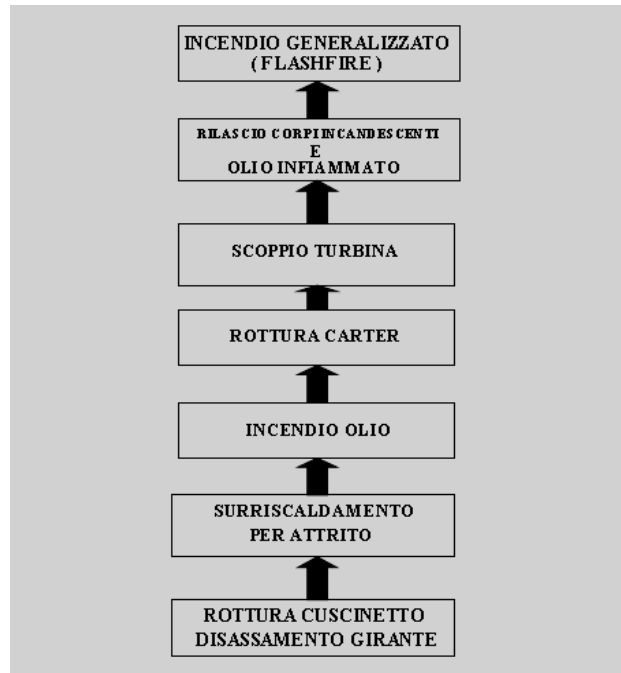



**Figura 113 :** ***Albero guasto turbina***

- ✓ **Tipo 2 pool fire a seguito di rottura tubazione gasolio e/o olio idraulico** : si tratta di un incendio grave di classe B che investe il motore a seguito di un rilascio di liquido infiammabile e che può prendere fuoco anche in punti distanti dalla sorgente del rilascio; la pozza incendiata può interessare anche la sede stradale e alimentare da terra l’incendio.
- ✓ **Tipo 3 incendio di solidi combustibili impregnati di liquidi infiammabili** (oli o grassi) a seguito di surriscaldamento di parti metalliche : si tratta di un incendio che ha origine da un surriscaldamento a seguito di attrito anomalo; lo sviluppo è generalmente graduale nel tempo ma può evolvere verso altri tipi di incendio (ad esempio di tipo 1 e 2).

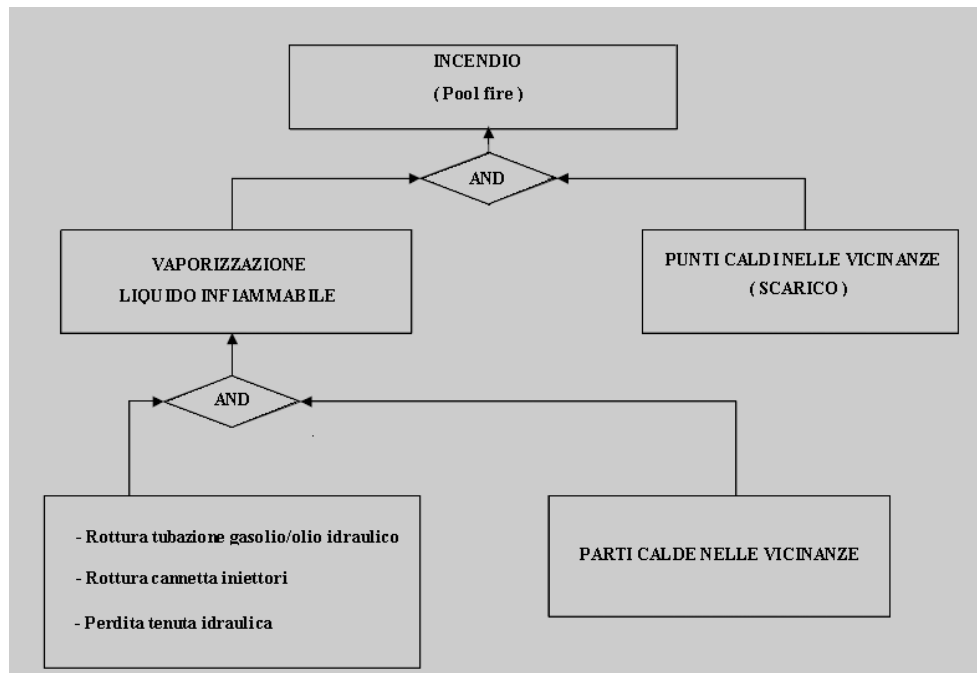



**Figura 114 :** ***Rilascio liquido combustibile o infiammabile a seguito rottura tubazione o perdita tenuta***

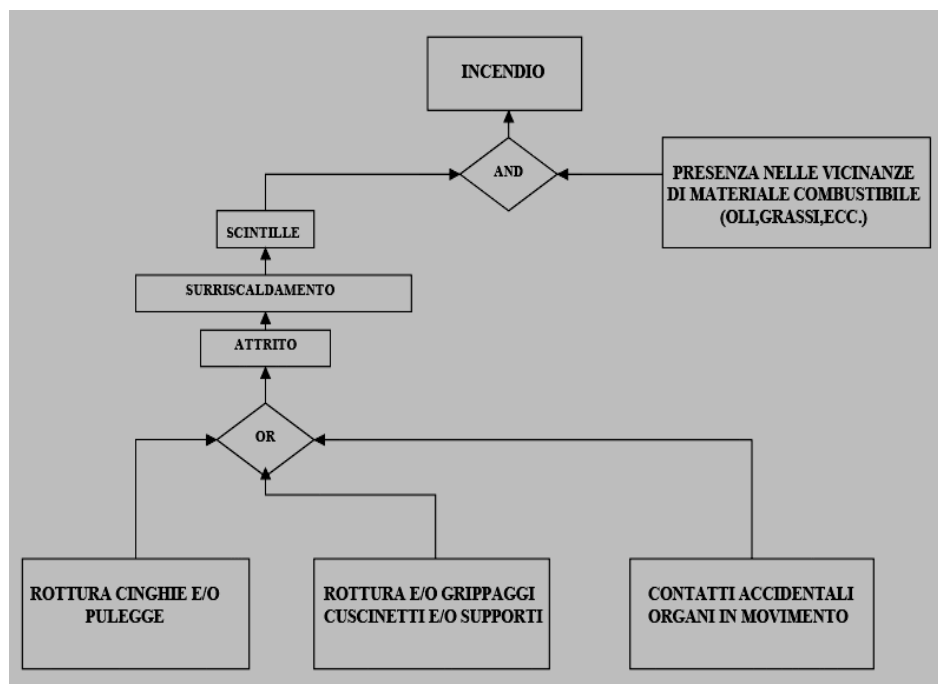



**Figura 115 :** ***Guasti meccanici che conducono a surriscaldamento e/o incendio***

- ✓ **Tipo 4 incendio di natura elettrica** : si tratta di un incendio di classe **A** che innesca residui di olio e/o gasolio posti nelle vicinanze.

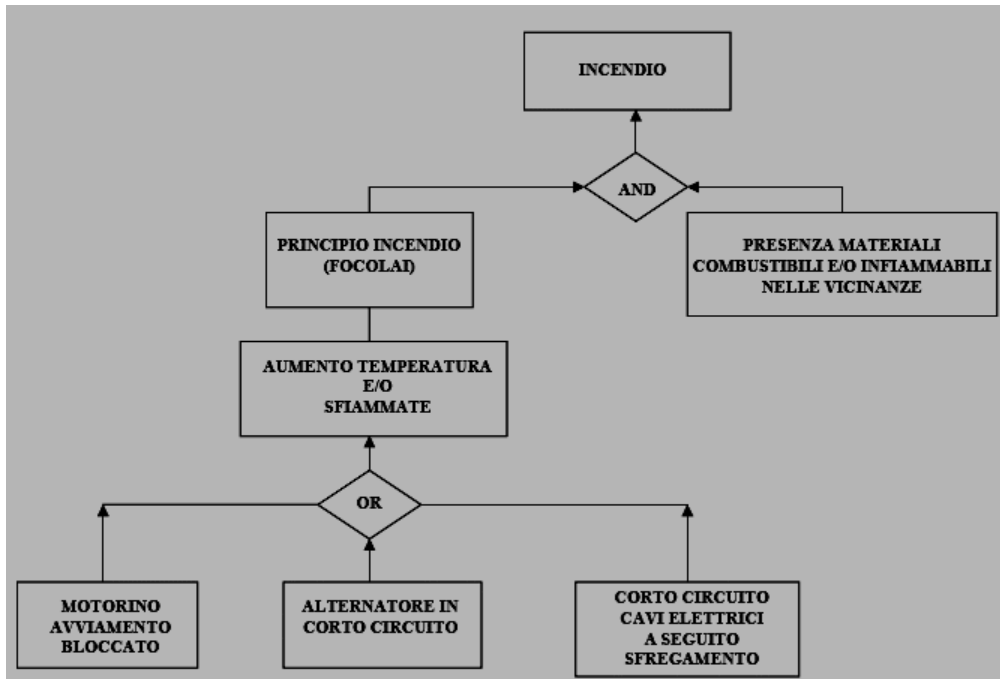



**Figura 116 :** ***Guasti elettrici che conducono a incendio***

## 7.7 MISURE DI SICUREZZA

### 7.7.1 Misure di sicurezza tecniche

Tenuto conto di tutta l'analisi e delle osservazioni fatte, risulta evidente, che si rende necessario definire opportune misure di sicurezza, sia di tipo tecnico che gestionale, al fine di tutelare al meglio l'incolumità delle persone trasportate e per ridurre entro limiti accettabili i rischi d'incendio. Gli obiettivi da perseguire con dette misure sono pertanto di :

- ✓ eliminare ed eventualmente ridurre le possibili cause di incendio;
- ✓ proteggere il compartimento passeggeri assicurando almeno tempi e condizioni per un sicuro esodo.

Si riportano di seguito delle *considerazioni* e delle possibili azioni che andranno intraprese sia dai costruttori che dagli utilizzatori dei veicoli; in realtà le misure tecniche in seguito proposte, se accettate, devono essere in ogni caso messe in atto dal costruttore sui veicoli di nuova realizzazione o a parziale modifica di quelli in esercizio; per questi ultimi, pena la validità dell'omologazione, ben poco può l'azienda utilizzatrice del veicolo se non migliorare la qualità e la quantità dei mezzi di protezione antincendio e provvedere al meglio con misure di carattere gestionale.

Per la definizione di dette misure si è fatto riferimento allo schema dell'autobus precedentemente indicato.

#### *7.7.1.1 Compartimento passeggeri*

Nel caso che a seguito di un evento, si produca il solo effetto fumo nel compartimento passeggeri dell'autobus in esame, è evidente che in un volume complessivo del compartimento di circa 50 $m^3$ devono coesistere il fumo, circa 60 passeggeri (pari al 75% dei posti disponibili) e l'aria per la respirazione, sufficiente almeno per il tempo di fermare il veicolo ed iniziare l'esodo. Certamente in tale lasso di tempo, per l'esiguo volume disponibile ed in funzione delle caratteristiche dei materiali da cui proviene il fumo, risulterà più o meno ridotto il tasso di ossigeno nell'aria, con conseguente concentrazione pericolosa di prodotti nocivi; si omettono altre considerazioni sul comportamento tenuto dai passeggeri in quegli istanti, sugli effetti del fumo e sulla eventuale presenza di portatori di handicap.

Per evitare che l' ipotetico scenario descritto, o altri più drammatici, possano verificarsi, sarebbe necessario che detto compartimento, ai fini antincendi, si comporti come tale, cioè che esso, come definizione data dal **D.M. del 30/11/83**, costituisca parte di una struttura, delimitata da

elementi aventi resistenza al fuoco predeterminata ed organizzata per rispondere alle esigenze della prevenzione incendi. Nel caso specifico, il compartimento passeggeri dovrebbe essere opportunamente separato dalle altri parti del veicolo, in particolare dalle zone A e B costituenti i punti del fuoco, ed organizzato per evitare i danni ai trasportati ed assicurare loro un tempo sufficiente per un sicuro esodo.

La separazione della zona B non presenta particolari problematiche : ad ex attraverso una paratia tagliafuoco tra vano motore e cabina passeggeri da realizzare con cappottatura isolante, ovviamente l'elemento separante dovrà interrompere anche la continuità dei materiali delle fiancate e del padiglione, se combustibili, nonché presentare caratteristiche REI, cioè l'attitudine a conservare, per un tempo determinato e sotto l'azione del fuoco, la propria stabilità meccanica, la tenuta ai prodotti della combustione e l'isolamento termico. Stesse caratteristiche REI dovranno presentare tutte le botole comunicanti con detta zona e con il sottopavimento, al fine di rendere sempre possibili gli interventi di manutenzione.

Praticamente impossibile risulta realizzare la separazione della zona A, necessariamente compresa nel compartimento passeggeri e da questa non separabile a meno di non ricorrere a soluzioni avveniristiche che prevedano un cambiamento radicale della forma degli autobus, con una motrice e un rimorchio, così che da un lato sia disposta tutta la meccanica e dall'altro tutto lo spazio dedicato agli utenti [134]. Pertanto in questa zona dovrebbe essere accettata la presenza della sola impiantistica elettrica ed elettronica che, distribuita e protetta anche ai fini antincendio, assicuri condizioni di pericolo molto ridotte.

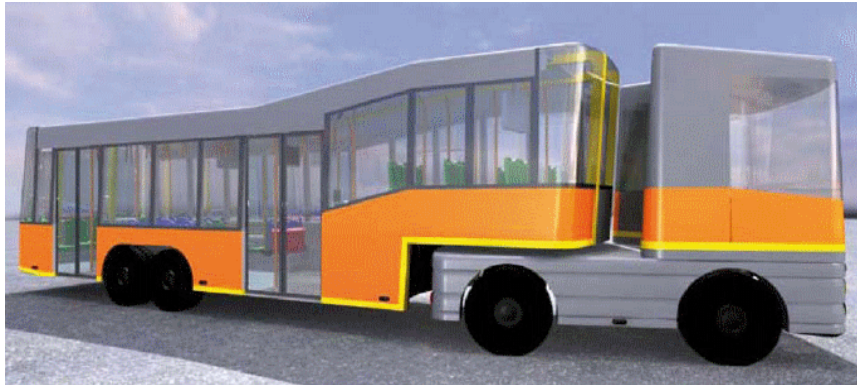



**Figura 117 :** ***Sistema di autobus Inbus di tipo BIG***

Per quanto concerne l' organizzazione antincendio del compartimento, mirata a tutelare l'incolumità dei passeggeri, in caso di evento dovrebbero essere previsti :

- ✓ la possibilità di una adeguata areazione dell'ambiente;
- ✓ un facile e sicuro esodo dal compartimento;
- ✓ allestimenti con materiali di difficile combustibilità.

Una buona aerazione del compartimento può essere ottenuta installando finestrini con parti facilmente apribili e disponendo almeno due botole sul padiglione, generalmente già previste dai costruttori, in tal modo si otterrebbe lo scarico dei fumi, un maggiore tasso di ossigeno nell'aria, una maggiore visibilità e quindi minori condizioni di panico.

L'apertura totale delle botole, oltre al sistema manuale che risulta talvolta complicato, dovrebbe essere attivata da un ulteriore comando di emergenza, disposto vicino a quello centrale, posto sulla plancia del conducente.

Di estrema affidabilità dovrebbe sempre risultare il sistema di apertura delle porte, specie se rototraslanti : l'azionamento in emergenza potrebbe essere attivato mediante lo stesso comando utilizzato per l' apertura delle botole.

Tutti i materiali di natura combustibile impiegati nell'interno e all'esterno del compartimento, dovrebbero possedere buone caratteristiche di

reazione al fuoco. E' fuori dubbio che i materiali attualmente installati superino ampiamente le prove previste dalla **Direttiva 95/28/CE**, ma è anche certo e documentato che nell'arco di una decina di minuti e non di ore, l'autobus vada interamente distrutto. Probabilmente le valutazioni andrebbero determinate con norme più aderenti alle reali condizioni che si possono instaurare in caso di incendio all'interno del veicolo.

##### *7.7.1.2 Parte posteriore - zona A*

In questa zona del veicolo non dovrebbero essere installate le batterie, il sistema idraulico di frenatura, i serbatoi di gasolio e quant'altro possa essere causa d'incendio.

##### *7.7.1.3 Parte Posteriore - zona B*

Nel vano posteriore dovrebbe essere assolutamente eliminata, o nei limite del possibile ridotta, la possibilità di un principio d' incendio, provvedendo pertanto :

- ✓ ad installare serbatoi metallici e non di plastica, per il rabbocco dell'olio motore e di quello idraulico, posizionati in zona protetta e con bocchettoni di riempimento ed indicatori del livello disposti in nicchia isolata, accessibile dall' esterno e dotata di opportuno sistema di antigocciolamento;
- ✓ a realizzare con tubazioni di metallo tutti i collegamenti relativi al trasporto dei liquidi combustibili, in sostituzione di quelle attuali in plastica e gomma;
- ✓ a focalizzare l'attenzione sull'installazione dell'impianto elettrico adottando norme interne o Standard Internazionali, con particolare enfasi al layout dei cablaggi (utilizzo di staffe o fissaggi con caratteristiche appropriate) e realizzando cavi e guaine dell' impianto elettrico del tipo non propagante fiamma, opportunamente fissati in modo da non essere danneggiati da tagli,

abrasioni, ecc e disposti in modo da evitare il contatto con superfici calde o potenzialmente tali;

- ✓ è auspicabile, ai fini della prevenzione incendi, che siano previsti vani tecnici di dimensione adeguate ad evitare l'eccessivo affollamento delle apparecchiature. Ciò comporterebbe una lieve diminuzione del numero dei passeggeri totali teoricamente trasportabili, peraltro ampiamente compensata da vani tecnici più ordinati, con apparecchiature, cavi, cablaggi e tubazioni disposti in modo più razionale e, soprattutto, lontani dalle fonti di calore, con indubbi benefici anche per l’affidabilità e la manutenibilità degli autobus.

#### *7.7.1.4 Mezzi di spegnimento*

Per quanto riguarda tali mezzi è accertato che nella prima fase dell’incendio sono stati impiegati anche estintori ad anidride carbonica in dotazione. Detto tipo di estintore, sicuramente uno dei più onerosi nell’acquisto e nella gestione, è esclusivamente idoneo per fuochi di classe B (liquidi combustibili) e presenta una capacità estinguente non superiore a 55B per il tipo da 5 kg, capacità ancora più ridotta se utilizzato in ambienti aperti o ventilati : l’estinguente al momento dell’erogazione si presenta allo stato di gas inerte e per un efficace spegnimento è necessaria una saturazione volumetrica per ambienti chiusi, oppure interventi localizzati in ambienti aperti ma con l’impiego di grandi quantitativi. Ben più appropriato, nonché economico risulta l’estintore a polvere polivalente, idoneo per fuochi di Classe ABC (solidi, liquidi e gas combustibili), che generalmente presenta una capacità estinguente di 34A 233BC per i tipi attualmente in commercio da 6 kg che risultano valori elevati per la tipologia dei fuochi (Classe A e B) che possono svilupparsi nell’incendio del veicolo.

Pertanto in considerazione dei possibili fuochi che possono interessare l'autobus risulta necessaria :

- ✓ l'installazione in prossimità del posto guida di 2 estintori a polvere di capacità estinguente non inferiore a 34A 144BC o in alternativa, per evitare il panico dei passeggeri, 1 estintore a polvere e 1 a schiuma entrambi con le medesime capacità estinguenti di cui sopra;
- ✓ un miglioramento dei sistemi automatici di estinzione dell'incendio nel vano motore;
- ✓ l'installazione all'interno del vano posteriore di un sistema di spegnimento automatico del tipo a polvere, con rilevazione possibilmente estesa a tutti i punti del vano (cavo termosensibile), dotato anche di comando manuale azionabile dal comando di emergenza incendio.
- ✓ La creazione di appositi fori sul portellone del vano motore per intervenire manualmente dall'esterno inserendo le manichette degli estintori portatili senza aprire il portellone ed iniettarne il contenuto, il tutto per evitare di alimentare l'incendio con ossigeno, aprendo il portellone motore per spegnere l'incendio.
- ✓ valutazione dei sistemi d'estinzione automatica in scala reale.

#### *7.7.1.4.a Indagine di approfondimento e prove di incendio*

Per quest'ultimo punto, al fine di indagare e analizzare in dettaglio i fattori d' incendio più a rischio presenti nel vano motore di un autobus, può risultare conveniente effettuare prove distruttive e non, ossia prove di comportamento e funzionamento in cui si cerca di riprodurre fedelmente le condizioni al contorno utilizzando ad ex un autobus non più in esercizio, da dismettere, ma perfettamente funzionante, nel cui vano motore saranno simulati tutti i possibili fattori di incendio; dai risultati

acquisiti l' indagine potrà successivamente estendersi, con prove non distruttive, a tutte le tipologie di autobus utilizzati ricavando così utili indicazioni per i miglioramenti. Tenendo conto comportamento di ciascun liquido combustibile, rilasciato per simulata perdita o rottura nel circuito, in presenza di ogni possibile innesco si può pensare di riprodurre gli incendi tipici che possono verificarsi in un vano motore, individuati con l'analisi F.M.E.A. considerando i seguenti 4 modelli di incendio associati agli eventi individuati:

1) **Tipo 1 flash fire da rottura turbina** : la modellazione si ottiene spruzzando gasolio e olio caldo nel vano motore e si innesca con fiammella o con piastra incandescente; per alimentare l'incendio vengono posizionate alcune vaschette con gasolio nel vano motore.

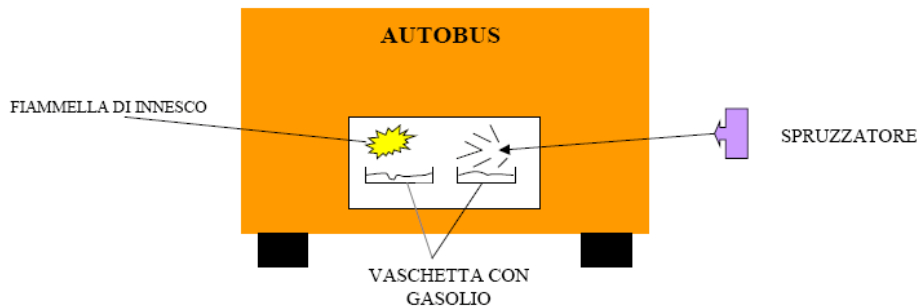



**Figura 118 :** ***Modellazione di incendio di tipo 1***

2) **Tipo 2 pool fire a seguito di rottura tubazione gasolio e/o olio idraulico** : la modellazione si ottiene spruzzando gasolio e olio nel vano motore fino ad ottenere il gocciolamento a terra e si innesca con fiammella.

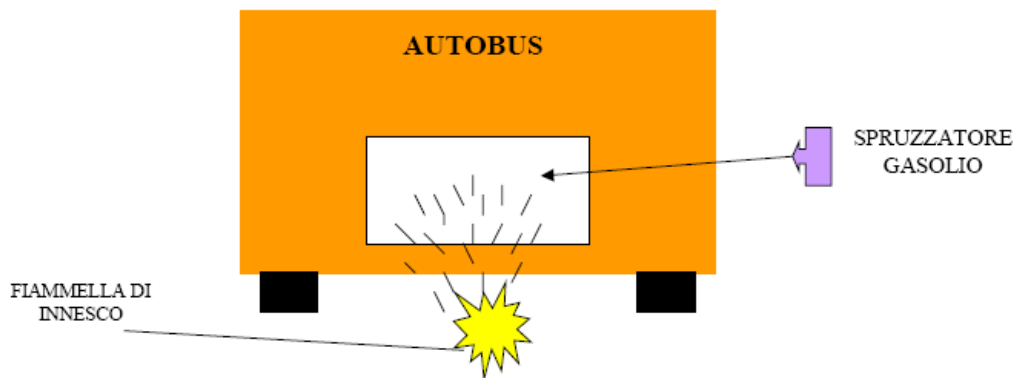



**Figura 119 :** ***Modellazione di incendio di tipo 2***

3) **Tipo 3 incendio di solidi combustibili impregnati di liquidi infiammabili (oli o grassi) a seguito di surriscaldamento di parti metalliche** : la modellazione si ottiene spruzzando gasolio sopra una piastra incandescente posta nel vano motore e si alimenta il fuoco con una vaschetta contenente gasolio o olio posta nel vano.

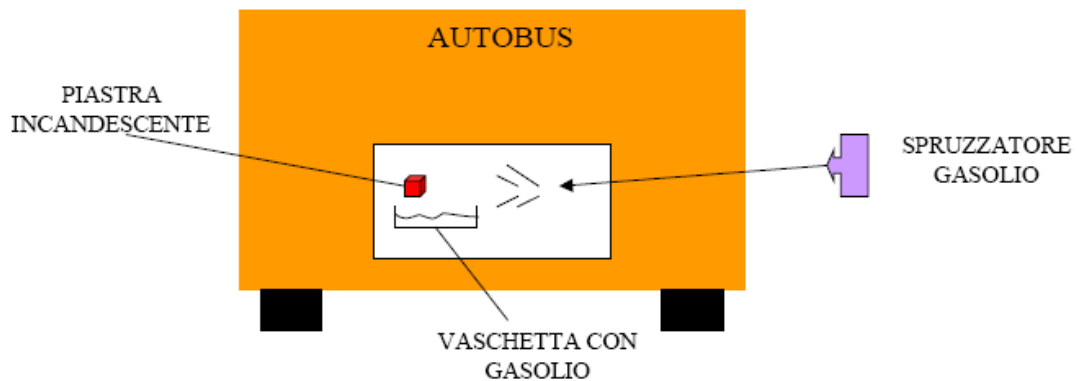



**Figura 120 :** ***Modellazione di incendio di tipo 3***

4) **Tipo 4 incendio di natura elettrica** : la modellazione si ottiene inviando una corrente anomala in una matassa di cavi fino a provocare l'incendio; nelle immediate vicinanze viene posto uno straccio imbevuto di olio oppure una vaschetta con gasolio.

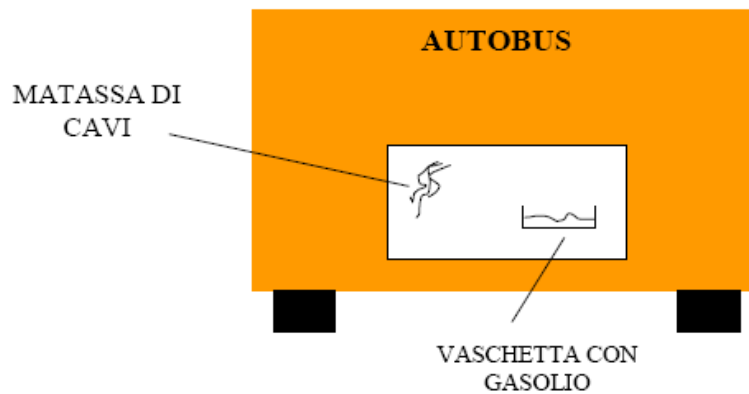



**Figura 121 :** ***Modellazione di incendio di tipo 4***

Gli *strumenti di misura* da utilizzare durante le prove consisteranno in una termocamera a infrarosso, una telecamera digitale e inoltre opportune termocoppie misureranno la temperatura all'interno del vano motore. Per quanto riguarda invece le *modalità di prove*, queste dovranno essere effettuate su un autobus da dismettere ma perfettamente marciante. Per rendere visibile le prove, dal portellone posteriore dovrà ricavarsi un finestrone a cui verrà applicato un vetro resistente al fuoco. Analogamente saranno ricavate finestre resistenti al fuoco sulle pareti laterali dell' autobus. Le prove verranno effettuate con sportello chiuso e motore in moto. Di ogni prova saranno rilevati i seguenti dati : temperatura ambiente, velocità e direzione del vento, temperatura del vano motore, quantità di infiammabili e/o combustibili impiegati, durata innesco, durata combustione libera, durata scarica impianto antincendio ed infine l'esito delle prove. L' attrezzatura di prova sarà costituita da : una fiammella di innesco realizzata con serbatoio GPL con tubazione rigida, uno spruzzatore e/o vaporizzatore con pistola ad aria compressa, un serbatoio preriscaldo gasolio, una piastra incandescente, un resistore elettrico su piastra metallica, un innesco elettrico, una matassa di fili elettrici in cui viene fatta circolare una corrente intensa fino all' incendio del cavo.

Per la protezione attiva dell'autobus al fine di svolgere tutte le prove in una totale sicurezza, dovranno allestirsi sistemi di spegnimento come estintori manuali a polvere, a $CO_2$, carrellati, e schiumogeni. Inoltre, in aggiunta alle tradizionali dotazioni di sicurezza antincendio, a protezione dell' autobus andrà installato nel vano motore un impianto di spegnimento automatico.

*7.7.1.4.b Manutenzione antincendio*

Per il controllo e la manutenzione dei mezzi e delle attrezzature antincendio, in ottemperanza all'art. 4 del **D.M. 10 /03/98**, devono effettuarsi nel rispetto delle disposizioni legislative e regolarmente vigenti; il datore di lavoro deve adottare le misure finalizzate a garantire l'efficienza dei sistemi di protezione in conformità ai criteri indicati nell'allegato VI del D.M. di cui sopra, che prevede sorveglianza, controlli periodici e manutenzione di tutte le misure di protezione antincendio; i mezzi di estinzione devono essere mantenuti efficienti e controllati almeno una volta ogni sei mesi da personale esperto; inoltre i responsabili delle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi sono obbligati a tenere un apposito registro in cui devono essere annotati tutti gli interventi di controllo e manutenzione e su detto registro va annotata anche l'informazione e la formazione del personale.

*7.7.1.5 Comandi di emergenza*

Oltre al comando centrale di emergenza con le funzioni previste dalla norma **CUNA NC 590-02**, occorre un miglioramento dei sistemi atti a segnalare tempestivamente all'autista la presenza di incendio nel vano motore e potrebbe essere previsto ad integrazione di quello precedente, un ulteriore comando, definibile di emergenza incendio, che con un' unica manovra possa attivare l'aperture delle botole del padiglione,

l'apertura delle porte e l'azionamento dell'impianto di spegnimento del vano motore.

### 7.7.2 Misure di sicurezza gestionali

Si ritiene opportuno fare alcune osservazioni in merito alla gestione della situazione di emergenza verificatasi ed alle condizioni generali di sicurezza antincendio dell'attività. Per quanto attiene alle misure di sicurezza gestionali necessarie a prevenire ed affrontare correttamente una possibile condizione di pericolo che possa verificarsi su un veicolo durante il servizio di trasporto, è bene tener conto che l'azienda erogante il servizio di trasporto è tenuta in ogni caso a tutelare la sicurezza del personale dipendente viaggiante, dei passeggeri, e di eventuali terzi. Purtroppo oltre alla predisposizione di un "Regolamento di esercizio", cioè di norme comportamentali per il personale e per gli utenti, in assenza di specifici adempimenti previsti per tale tipo di attività da parte della vigente legislazione, può assumersi come normativa di riferimento il **DLgs. 81/2008 e successivi aggiornamenti**, che in materia di sicurezza e salute dei lavoratori contempla tale attività tra quelle soggette agli obblighi previsti, con l' esclusione delle sole disposizioni relative ai luoghi di lavoro come indicato all'art.62. L'azienda pertanto è tenuta ad osservare le seguenti disposizioni :

- ✓ effettuare periodiche operazioni di controllo e manutenzione dei veicoli;
- ✓ erogare una adeguata formazione ed informazione al personale viaggiante.

Le operazioni di controllo dovrebbero essere effettuate preferibilmente con frequenza giornaliera, prima dell' entrata in servizio dell'autobus, con prove riguardanti in particolare il corretto funzionamento di tutti i

dispositivi di sicurezza presenti sul veicolo. Tali compiti, affidati senz'altro al conducente, comprenderanno anche un controllo almeno visivo di tutto il veicolo, esteso ai vani interni ed in particolare a quello motore, per accertare eventuali anomalie quali perdite dalle tubazioni, spandimenti e/o impregnamenti di liquidi, usura delle cinghie, di tubazioni, di cavi elettrici e qualsiasi altra condizione ritenuta non corretta.

In realtà accade raramente che eventi isolati conducono a un incendio, ma è più spesso la combinazione di diversi eventi a esserne responsabile; se è vero da un lato, che nelle fasi di sviluppo di un veicolo è necessario prendere in considerazione una vasta gamma di esigenze, funzioni e proprietà del prodotto determinanti un veicolo finale, che risulta spesso un compromesso e quindi ne possono risultare diverse combinazioni in grado di condurre a un incendio, non sempre comprese o trattate pienamente, d'altro canto non è solo il design del nuovo prodotto a determinare se il rischio incendio è elevato, poiché una volta che l'autobus ha raggiunto il cliente è la manutenzione del prodotto altrettanto fondamentale in termini di prevenzione incendi. Pertanto la manutenzione periodica deve essere effettuata da ditta o personale altamente qualificato, attenendosi in modo scrupoloso alle istruzioni fornite dalla ditta costruttrice. Per quanto inerente la formazione ed informazione da erogare al personale viaggiante, il contenuto dei programmi deve tenere principalmente conto che all'autista, che, a parere dello scrivente, rappresenta qualcosa di più di un semplice lavoratore e potrebbe assimilarsi a un preposto, cioè a una persona che sovraintende un attività o quantomeno un punto operativo, viene affidata la gestione di un trasporto di decine di persone e che lo stesso deve garantire, per conto dell'azienda erogante, il diritto alla sicurezza dei passeggeri anche in caso di emergenza. Pertanto, mentre il datore di lavoro deve provvedere ad

erogare adeguata formazione così come indicato dagli art. 36 e 37 del suddetto decreto, l' autista è tenuto ad osservare gli obblighi previsti dall'art. 20, in particolare comma 1 e 2 lettere a) ed e) :

- ✓ deve essere informato sui rischi specifici connessi con l'attività, cui sono esposti, non solo la sua persona ma anche i passeggeri ed i terzi; per cui il datore di lavoro e per questi il servizio di prevenzione e protezione dell' azienda deve provvedere all'individuazione delle condizioni di pericolo connesse con detta attività ed all'elaborazione di misure preventive e protettive di propria competenza, facendo in modo che l'autista venga a conoscenza delle condizioni di pericolo d'incendio connesse con il modello di veicolo ed informato sulle misure preventive e protettive disposte in merito;
- ✓ deve essere adeguatamente formato non solo per utilizzare in modo appropriato i dispositivi di protezione messi a disposizione (ad esempio l'estintore) ma anche per gestire in modo corretto una possibile situazione di emergenza che possa coinvolgere anche i passeggeri, specie quelli con ridotta o impedita capacità motoria.

Sebbene quanto previsto dall'**art. 5 del D.M. del 10/03/98** in materia di criteri generali di sicurezza antincendio e di gestione dell'emergenza, che in pratica costituisce il decreto di attuazione al disposto dell'**art. 46 del D.Lgs. 81/2008**, debba applicarsi solo ai luoghi di lavoro, è comunque auspicabile la predisposizione di un piano di emergenza che definisca tra l'altro le azioni che i lavoratori devono mettere in atto in caso di incendio e le disposizioni per chiedere l'intervento dei Vigili del Fuoco e fornire le necessarie informazioni al loro arrivo. Il conducente è intervenuto sull'incendio ad esempio, senza prima aver provveduto a togliere la tensione all'impianto elettrico, mettendo a rischio la propria incolumità e ciò dimostrerebbe che, oltre a non essere state predisposte le procedure di

emergenza e di intervento, non è stata erogata idonea informazione a tutto il personale, come previsto dall'**art. 3 del DM 10/03/98**. Il personale intervenuto per spegnere gli incendi è rimasto generalmente intossicato dai fumi e gas e l'**art. 369 del DPR 547/55** precisa che nei luoghi in cui possono svilupparsi o diffondersi gas, vapori o altre emanazioni tossiche od asfissianti, deve essere tenuto in luogo adatto e noto al personale, un numero adeguato di maschere respiratorie o di altri apparecchi protettori da usarsi in caso di emergenza. Appare inoltre auspicabile la creazione di un modulo standard (vedi appendice), da compilare a cura dell'autista, con oggetto il sinistro, con l'obiettivo di facilitare le indagini sulla causa dell'incendio. Con riferimento ai fatti specifici, oggetto del nostro studio e per quanto inerente le difficoltà incontrate dagli autisti nel tentativo di spegnere il principio di incendio dell'autobus nelle fasi iniziali, si ritiene che ciò possa essere principalmente imputato ai seguenti fattori :

- ✓ alla difficoltà di accedere nella zona di innesco dell'incendio;
- ✓ alla non specifica esperienza degli intervenuti nell'uso del mezzo antincendio;
- ✓ alla scarsa idoneità del mezzo antincendio stesso.

Tralasciando il terzo fattore già ampiamente trattato a proposito dei mezzi di spegnimento, per quanto inerente i primi due fattori si è rilevato che gli autisti intervenuti non disponevano delle necessarie chiavi per aprire i portelli di accesso al vano posteriore dell'autobus : ciò suggerisce l'opportunità di custodire dette chiavi a bordo di ciascun veicolo, in modo che all'evenienza siano facilmente prelevabili. Il verificarsi, inoltre, di incendi a bordo con maggiore frequenza che per il passato, anche presso altri gestori del trasporto pubblico, suggerisce di sottoporre ad uno specifico addestramento il personale viaggiante in modo che lo stesso sia messo in condizione di fronteggiare al meglio questo tipo di emergenza, qualunque sia la causa d'innesco e i materiali e le sostanze coinvolte.

### 7.7.3 L'ottimizzazione della manutenzione attraverso i sistemi di diagnostica

La crescente complessità degli impianti elettrici di bordo, l'aumento degli accessori e dotazioni, la necessità di controllare i parametri funzionali dei diversi componenti e la prospettiva di una diagnostica a distanza, ha completamente rivoluzionato, negli ultimi anni, il sistema autobus grazie anche ad alcune innovazioni elettroniche rilevanti, rendendo indispensabile modificare totalmente le filosofie manutentive; tra le tecnologie più recenti sicuramente va menzionato il sistema Multiplex, adottato sugli autobus in esame, ossia un sistema costituito da una centralina elettronica principale di controllo (CMU), sulla quale vengono riversati i dati provenienti dalle diverse unità elettroniche (SLU e IOU), che gestiscono e monitorano i componenti del veicolo, collegate all'unità centrale per mezzo di linee con protocollo di comunicazione CAN-Bus grazie al quale, le connessioni tra i vari componenti non sono più multifilari, ovvero un filo per ogni segnale o comando, ma monofilari o multiplexate, ossia su una coppia di fili viaggiano più informazioni o comandi [135 a 139]. Il sistema prevede anche un display, posizionato sul cruscotto davanti all'autista, che consente la visualizzazione delle informazioni necessarie alla conduzione del veicolo, la verifica della corretta funzionalità delle centraline e la diagnostica onboard delle avarie e delle anomalie riscontrate, che permangono a bordo veicolo in una memoria, la black-box, sino alla cancellazione da parte del manutentore, che avviene dopo lo scarico dei dati su un PC portatile.

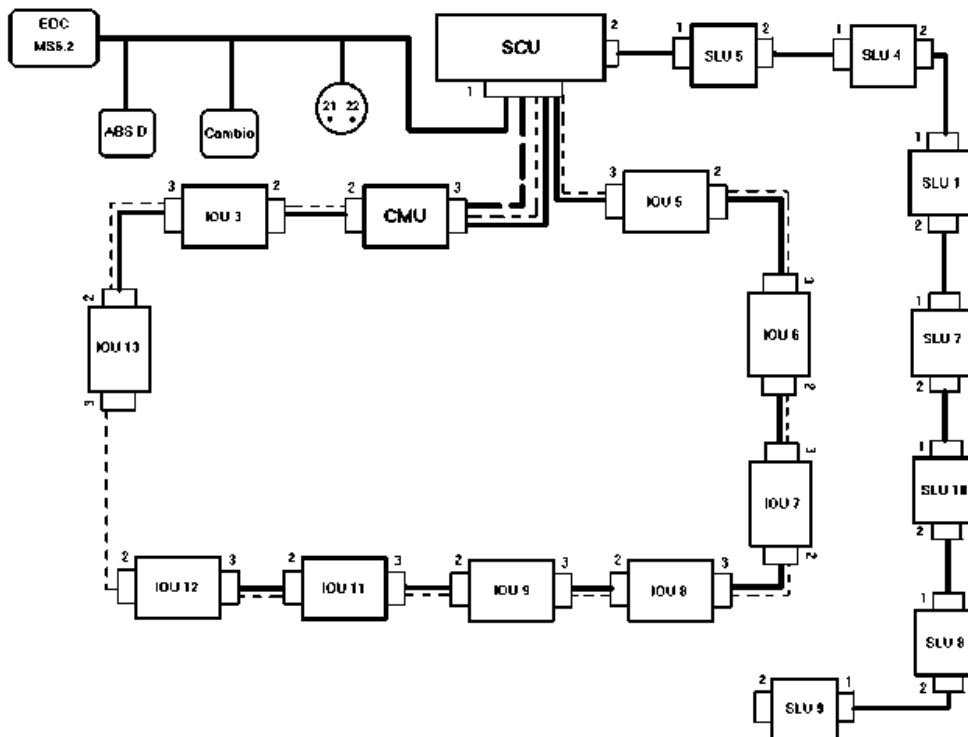



**Figura 122 :** ***Schema sistema Multibus***

C'è da osservare che la "scatola nera", ossia quel dispositivo che registra cronologicamente tutte le anomalie del mezzo e che consente una diagnostica a posteriori da parte del personale, presenta una capacità limitata di memoria e poiché riporta gli errori che si verificano sul veicolo man mano che si presentano, non assegnando ad essi priorità in termini di rilevanza, segnalandoli ripetutamente, verranno evidenziati solo gli ultimi dati memorizzati, magari di gravità minore.

La possibilità di raccogliere e analizzare i dati degli autobus e di potere seguire l'evoluzione nel tempo di un componente è un occasione di innovazione da considerarsi fondamentale per un' azienda di trasporti e che deve essere sviluppata e sostenuta. Infatti, attraverso la diagnosi predittiva è oggi possibile prevenire i problemi mediante misure ed analisi effettuate sull'autobus, determinando col massimo grado di affidabilità possibile, le reali condizioni di funzionamento, sia globali, sia dei singoli componenti, al fine di individuare sul nascere i difetti,

seguirne la loro evoluzione nel tempo e programmare, con congruo anticipo e flessibilità, le opportune azioni correttive, da effettuarsi solo quando strettamente necessarie in base alla valutazione della vita residua dei componenti delle macchine. Questa rivoluzione tecnologica ha provocato lo spiazzamento tecnologico dei vecchi manutentori e ha richiesto l'inserimento di nuove figure ad alta professionalità, per cui per applicare effettivamente la manutenzione on condition è necessario un sistema informativo della manutenzione, che possa gestire le informazioni off board inviate dai dispostivi nelle procedure gestionali quotidiane e da ultimo, ma non meno importante, la possibilità di disporre di personale qualificato che possa entrare nell'ambito di questa nuova filosofia. Per quanto attiene alla trasmissione dei dati, essa può avvenire, al rientro dell'autobus in deposito, in maniera manuale, tramite back-up su unità diagnostiche portatili, o in maniera automatica via Bluetooth o WiFi, oppure per la nuova generazione di impianto elettrico Multiplex, che consente di ampliare le prestazioni disponendo di una diagnostica a distanza (off board), attraverso moduli come il BUS SAPIENS della TEQ o analogamente l'Intellibus della Digigroup applicabili anche su veicoli già circolanti e dotati di tecnologia tradizionale, il trasferimento dei parametri funzionali del veicolo, controllati e memorizzati dalla diagnostica di bordo, avviene via GSM/GPRS, in tempo reale, ad un qualsiasi sistema di gestione flotte, potendo in tal modo velocizzare e semplificare l'approccio manutentivo, predisponendo in anticipo depositi e officine agli interventi più consoni da attuare.

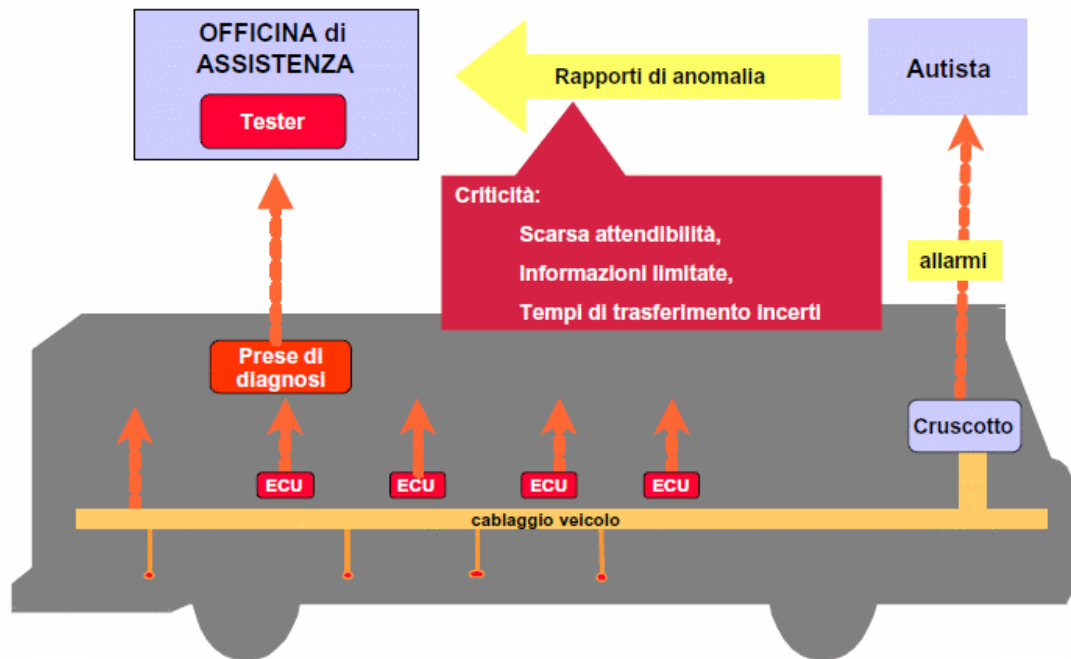



**Figura 123 :** ***Diagnostica del veicolo con il sistema tradizionale***

A differenza quindi del sistema di diagnostica tradizionale, in cui veniva affidato all'autista stesso, al rientro dal turno di lavoro, il compito di segnalare eventuali anomalie, con i nuovi sistemi diagnostici di registrazione e trasmissione dei dati, grazie all'analisi successiva degli stessi, anche di tipo statistico, si realizza un monitoraggio continuo dello stato operativo del veicolo, riuscendo ad intervenire prima che le anomalie raggiungono livelli di gravità eccessivi, anticipando un eventuale stato di crisi e prevenendo i guasti, determinando così un miglioramento dell'efficienza, una riduzione dei costi di manutenzione, una riduzione dei fermi macchina e in definitiva una riduzione del rischio avarie e/o incendi durante il servizio. Anche il settore della ricambistica guadagna in efficienza ed in economia, grazie a una migliore programmazione degli approvvigionamenti del magazzino.

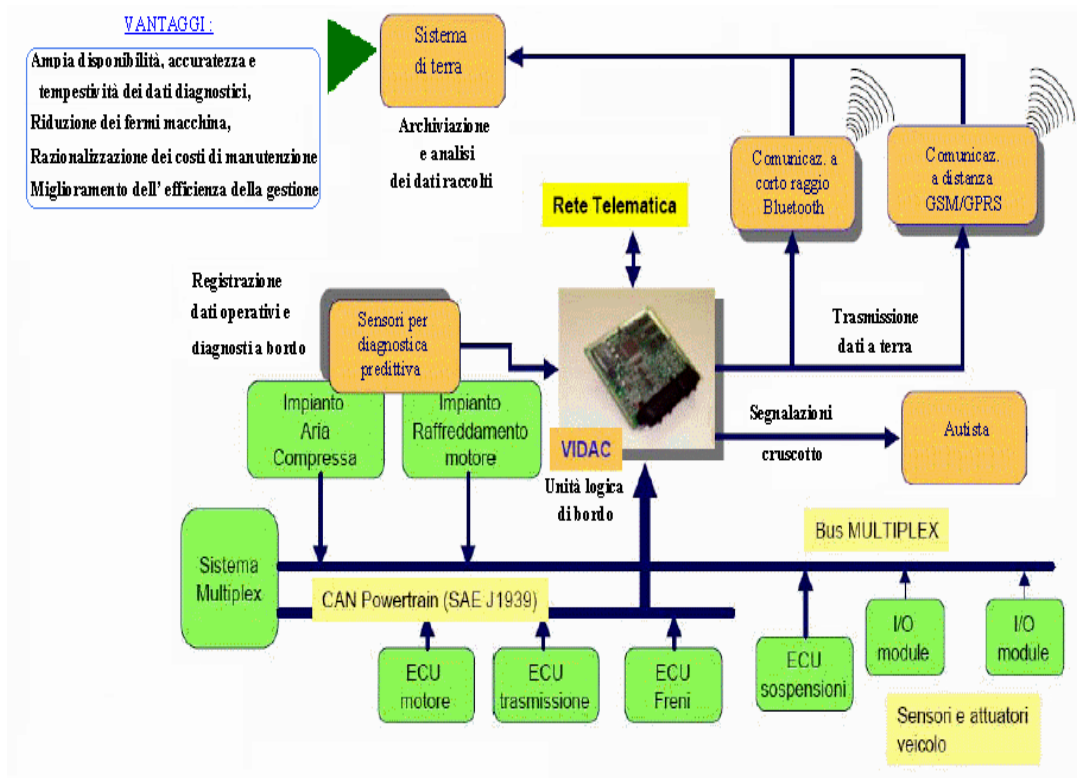



**Figura 124 :** ***Diagnostica del veicolo con il sistema Intellibus***

Nel caso specifico della problematica incendi, grazie all'ausilio di queste nuove tecnologie, sarebbe utile ottimizzare il sistema di monitoraggio già presente, includendo, nei parametri da tenere sotto controllo e memorizzati nella black-box, anche informazioni relative alla temperature del vano motore, rilevabili attraverso specifici sensori, così da poter sia tracciarne l'andamento nel tempo e valutare a posteriori la necessità di modifiche di impianti o al lay-out dei componenti nel vano motore, sia segnalare un allarme al conducente, una volta superato un determinato valore di soglia, consentire l'interruzione del flusso dei fluidi combustibili e/o dell' alimentazione elettrica e ed infine intervenire automaticamente mediante l'attivazione del sistema di spegnimento, bloccando così sul nascere eventuali situazioni di pericolo d'incendio. Diverse aziende operanti nel TPL hanno già introdotto queste innovazioni per la gestione delle flotte, avendo intravisto la possibilità di una

riduzione dei costi di manutenzione e dei guasti, ad esempio la ATM di Milano ha stimato una riduzione del 20% per i costi e del 60% delle avarie; pertanto è sicuramente auspicabile che la CTP prenda in esame, anche al fine di un aumento della disponibilità operativa dei veicoli e di un miglioramento della sicurezza puntare a una manutenzione on condition e predittiva, da affiancare, in ogni caso, alle politiche manutentive già presenti al fine di minimizzarne il costo globale, munendosi delle tecnologie diagnostiche necessarie, che seppure richiedono opportune competenze e una riorganizzazione delle attività, è pur vero che alla lunga apportano un vantaggio competitivo, determinando una diminuzione dei costi di gestione della manutenzione e della tecnologia, una maggiore affidabilità e disponibilità della flotta e regolarità e qualità del servizio.

### 7.7.4 Considerazioni finali

In definitiva sulla base dei dati statistici rilevati in quasi tutti i paesi risulta che la problematica degli incendi, in particolare dei vani motori, sugli autobus adibiti al trasporto pubblico, è in continua e rilevante ascesa rispetto ad altri tipi di incendio e poiché sta emergendo in tutti i suoi aspetti industriali e gestionali è sistematicamente oggetto di interesse dei tecnici del settore per la ricerca delle possibili cause e delle relative soluzioni di miglioramento. Da quanto infatti precedentemente descritto risulta abbastanza evidente che, sebbene gli autobus risultino per numero di incendi e di vittime, tra i più sicuri mezzi di trasporto di massa, per l'attuale configurazione di linea e la tecnologia impiegata per la realizzazione, presentano in generale una notevole vulnerabilità all'incendio che ne pregiudica la sicurezza dei passeggeri e di conseguenza la qualità, arrecando, quando l'evento si verifica, notevoli

danni all'immagine della società erogante il servizio. Secondo studi condotti da UITP l'intensificazione dell'incendio è imputabile principalmente ai materiali degli allestimenti interni; ciò si riscontra maggiormente nei veicoli più moderni e confortevoli per i passeggeri, i cui materiali sono causa non solo dell'aumento della probabilità di incendio, ma anche di notevole produzione di fumi tossici. La carenza di adeguate normative aggiornate al progresso tecnologico comportano che un eventuale principio d'incendio, per la quantità, contiguità e caratteristiche dei materiali impiegati, si intensifichi in tempi brevissimi coinvolgendo il compartimento dei passeggeri, tanto più rapidamente quanto più confortevole risulta l'allestimento a bordo, come avviene per gli autobus cosiddetti "interurbani" e per quelli "granturismo", per cui uno dei problemi principali è appunto costituito dalla necessità di assicurare innanzi tutto una rapida e sicura evacuazione dal mezzo. Certamente le maggiori condizioni di pericolo sono concentrate nel vano posteriore del veicolo dove in uno spazio molto ristretto coesisitono praticamente sostanze combustibili e sorgenti d'ignizione, con scarse protezioni e tutte per di più soggette a continue sollecitazioni termiche e meccaniche. La situazione attuale, non certamente esaltante, si è complicata ulteriormente non solo per l'avvento dei serbatoi di gasolio realizzati in materiale plastico, in aggiunta a quelli degli oli, ma anche per il sempre più crescente utilizzo di autobus interurbani a due piani, certamente con pericoli e tempi di esodo maggiori e con l' introduzione di veicoli costruiti secondo le normative antinquinamento, il cui rispetto spesso comporta l'innalzamento delle temperature dei vani motori e/o per l' impiego di carburanti gassosi come metano e idrogeno con relativo deposito di bombole. Alle problematiche tecniche si aggiungono anche quelle gestionali : infatti la **Direttiva 2002/85/CE** stabilisce le prescrizioni tecniche atte a garantire l'accessibilità dei veicoli alle

persone con ridotta capacità motoria, delegando al conducente la messa in funzione dell'elevatore, della rampa e del sistema di abbassamento del veicolo, fermo restando le garanzie di sicurezza dei passeggeri. Iniziativa legittima e condivisa ma allo stato delle cose pone nuovi problemi in caso di emergenza.

# Capitolo 8
# L’ Analisi Degli Investimenti

## 8.1 INTRODUZIONE

Per effetto dell’analisi e delle considerazioni viste nel capitolo precedente, vengono di seguito proposte delle azioni, da intraprendere in ambito sia progettuale da parte dei costruttori, sia manutentivo da parte delle aziende di trasporto, in particolare nel vano motore al fine di annullare o ridurre il rischio d’incendio entro un limite accettabile e contenere la propagazione di eventuali fiamme al vano passeggeri; le misure di miglioramento suggerite, senza stravolgere le caratteristiche funzionali dei mezzi e con un impegno relativamente limitato, sono tese a rendere l’autobus un prodotto più affidabile, a meglio tutelare l’ Azienda in caso di evento dannoso e a migliorare il benessere sociale assicurando il diritto alla sicurezza dei passeggeri e del personale viaggiante.
L’obbiettivo che ci poniamo è di valutare la correttezza così della politica adottata operando un’analisi semplificata dei costi-benefici delle soluzioni proposte per la reingegnerizzazione del prodotto-autobus, stimando i costi in primissima approssimazione e valutando solo i benefici più consistenti. Nell’analizzare la validità di un progetto bisogna definire rispetto a che cosa sia da ritenere valido un progetto di investimento : per un operatore pubblico l’alternativa cui fare riferimento è di non investire e poiché si assume, in un'economia di mercato, che le risorse investite dall'operatore pubblico siano sottratte, attraverso lo strumento fiscale, essenzialmente al capitale privato e la redditività media

del capitale privato (in prima approssimazione rappresentata dal costo del denaro, cioè dall'interesse bancario) costituisce, secondo alcuni, un ragionevole riferimento per valutare la redditività anche di un investimento pubblico. Allora l’investimento sotto esame sarà auspicabile o meno, a seconda che la sua redditività sia superiore o inferiore al saggio di redditività socialmente assunto come minimo accettabile in quel contesto economico [118 a 124].

## 8.2 L’ANALISI COSTI-BENEFICI

L’analisi costi-benefici (ACB) è una tecnica di analisi finalizzata a confrontare l’efficienza di diverse alternative e valutare decisioni di spesa, ad assicurarsi che le risorse siano investite nella maniera più efficiente possibile contribuendo così al raggiungimento dell’efficienza economica e che giudica preferibile l’opzione in cui la prevalenza dei benefici, derivanti dalla realizzazione di un determinato progetto, sui costi sia superiore, mentre nel caso di una sola opzione consente di verificare se la stessa è preferibile al lasciare immutata la situazione attuale (status quo). L'analisi C/B si pone il problema di mettere a confronto costi e benefici che avvengono in tempi diversi : generalmente si assume che un beneficio (o un costo) lontano nel tempo è valutato dai singoli individui meno dello stesso beneficio vicino nel tempo e che la misura quantitativa di questo meno si chiama *saggio di preferenze intertemporale* o più semplicemente *saggio di sconto*. Per gli individui ciò è intuitivamente vero: il prestito senza interessi non ha rilevanza economica e la rinuncia di un bene presente (supponiamo del denaro) è sempre fatta a fronte di un guadagno netto futuro, appunto il saggio di interesse sul prestito. Il problema si complica se si tenta di estendere questo atteggiamento all'operatore pubblico : secondo l’approccio

neoclassico l'operatore pubblico va interpretato come speculare ai singoli soggetti economici. In quest'ottica, l'interesse medio praticato nei prestiti risulta pienamente rappresentativo della preferenza intertemporale dei soggetti economici e di conseguenza va assunto dai decisori pubblici come saggio di sconto, per valutare benefici che avvengono in tempi diversi, secondo l'ottica del decisore privato: i benefici netti di un investimento devono essere superiori al saggio di interesse bancario, affinché l'investimento sia fattibile (cioè conveniente).

Per l'operatore pubblico occorre osservare che la scelta del saggio di sconto è comunque alla fine una decisione politica, alcuni autori propendono per approcci di tipo sperimentali, analizzando per esempio le scelte passate dell'amministrazione o deducendolo in maniera empirica, ma generalmente si ricorre a saggi di sconto in qualche modo collegati ai saggi di interesse di lungo periodo, operando analisi di sensibilità su di una serie di saggi all'intorno di quello prescelto, verificando quindi la validità della scelta fatta col variare di questo parametro.

L'ultima questione dell'approccio classico all'analisi C/B concerne la determinazione sintetica del giudizio di fattibilità, o della gerarchia in cui ordinare i progetti giudicati fattibili. I criteri di scelta sono sostanzialmente tre : il rapporto benefici/costi attualizzati (B/C), il saggio di rendimento interno (SRI) e il valore netto presente (VNP) o valore attuale netto (VAN), che costituisce il criterio ritenuto più valido in letteratura e ampiamente impiegato che quindi prenderemo in esame per la nostra analisi.

Il VAN è dato dalla somma dei valori attualizzati delle differenze, anno per anno, tra i benefici prodotti dal progetto ed i costi sostenuti per realizzare e gestire il progetto.

Analiticamente :

$$\text{VAN} = \sum_{n=o}^{T} \frac{B_n - C_n}{(i+1)^n}$$

Dove :

- ✓ $B_n$ = benefici all'anno n;
- ✓ $C_n$ = costi all'anno n;
- ✓ T = vita economica del progetto;
- ✓ i = saggio sociale di sconto;
- ✓ n = anni.

Il progetto è fattibile ed economicamente conveniente quando il VAN è positivo, ossia quando la differenza tra benefici e costi attualizzati è maggiore di 0, mentre tra due progetti alternativi ed incompatibili, è preferibile scegliere quello con il VAN maggiore.

Tenendo in mente tuttavia la rilevante incertezza insita in molte assunzioni, ipotesi e previsioni che vengono a monte degli algoritmi di scelta, nella pratica si è soliti ammorbidire il quadro dei risultati finali (ed arricchirlo), tramite analisi di sensitività. Queste analisi consistono nel riconsiderare i parametri chiave assunti nello studio (ad esempio, il saggio sociale di sconto) e definire il risultato finale in funzione di un ventaglio di valori che tali parametri possono assumere, cioè si mette in luce la sensibilità del progetto al variare di alcuni parametri. Queste analisi, indipendentemente dal loro tipo, consistono nel confrontare più alternative progettuali e tra queste è compresa anche *l'alternativa di non-progetto* (e quindi mantenere o no l'attuale stato degli autobus) : in linea di massima questa non coincide con la situazione attuale, ma è generalmente una situazione più degradata, essendo quella in cui si perverrebbe in assenza di interventi all'epoca della possibile attivazione del progetto in esame. Se interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria dovessero essere presi per evitare questo degrado, si

perverrebbe quindi a definire un'alternativa con un suo proprio costo e suoi specifici vantaggi, da confrontare quindi con quella di progetto.

## 8.3 Fasi principali dell'analisi costi-benefici

L'ACB si sviluppa mediante una successione di fasi logiche:

- ✓ definizione dell'ambito dell'analisi (destinatari dell'intervento e dell'arco temporale di interesse);
- ✓ individuazione dei costi e benefici e delle relative unità di misura;
- ✓ previsione in termini quantitativi e monetizzazione dei costi e dei benefici;
- ✓ sconto intertemporale (operazione mediante la quale grandezze monetarie disponibili in momenti diversi del tempo sono rese pienamente confrontabili tra loro, se è effettuato rispetto al tempo zero di implementazione dell'investimento, si definisce *attualizzazione* ed il valore di ciascuna voce espressa rispetto al tempo zero si chiama *valore attuale*), aggregazione dei costi e benefici, calcolo del VAN e valutazione convenienza;
- ✓ analisi di sensitività (calcolo delle variazioni del beneficio netto al variare delle assunzioni formulate per verificare la robustezza dei risultati ottenuti con l'ACB e quindi ottenere indicazioni sull'affidabilità degli stessi).

Non avendo la pretesa di effettuare una precisa analisi economico o finanziaria del nostro investimento ma solo al fine di valutare l'effettiva fattibilità del progetto e dare consistenza alle proposte, non applicheremo la modalità previste da modelli consolidati dell'economia e dagli strumenti disponibili per problematiche complesse ma particolarizzeremo l'analisi alle politiche organizzative delle aziende di trasporto in generale e della CTP in particolare.

### *8.3.1 Definizione dell'ambito dell'analisi*

La vita utile di un autobus è stimata essere di 13 anni o 14 secondo una fonte Ansaldo, ma di fatto le ristrettezze economiche in cui si dibattono le aziende di trasporto pubblico locale costringono all'utilizzo dei mezzi ben oltre i limiti sopra indicati inoltre, inoltre al termine della vita utile hanno un valore residuo stimato pari al 5% di quello iniziale.

Un azienda di TPL generalmente effettua i suoi acquisti attraverso dei finanziamenti provenienti da enti statali, contributi pubblici regionali, provinciali o degli altri Enti territoriali, per cui ogni flotta di veicoli segue una storia diversa e spesso l'azienda di trasporto è vincolata ad esercire quella determinata flotta per un determinato numero di anni, indicati dal LCC, senza poterla in alcun modo permutare o dismettere ed inoltre le modifiche tecniche che occorre consigliare devono essere a basso impatto economico, in maniera tale da massimizzare i benefici con una spesa quanto più contenuta possibile.

Ogni volta che si incendia un autobus e risulti irrecuperabile, l' azienda di trasporto deve valutare l'impatto che ha tale defezione sul servizio che deve garantire e man mano che il numero di autobus disponibili diminuisce occorrerà applicare una strategia che può seguire varie strade : o acquisto di autobus nuovi, o modifica del contratto di manutenzione con richiesta di aumento di disponibilità al manutentore, o entrambe. In realtà la strategia che comporta l'acquisto di autobus nuovi comporta oltreché una spesa elevata con impatto negativo sul bilancio, anche un' eterogeneità della flotta, in quanto il modello quasi sicuramente sarà diverso e le età dei diversi mezzi risulteranno differenti, determinando spesso problemi di diagnosi (per le diversità dei software utilizzati), di manutenzione (avremmo pezzi di ricambio diversi, mentre la condizione migliore per mantenere e gestire sarebbe l'uniformità dei vari elementi), maggiori problemi di approvvigionamento, inficiando così il rapido

approntamento dei mezzi. Con l'altra soluzione invece si tendono ad utilizzare e sfruttare al meglio gli autobus in possesso, richiedendo uno sforzo maggiore alla manutenzione, anche se in questo modo gli autobus, percorrendo un numero maggiore di chilometri, invecchieranno prima e più rapidamente raggiungeranno il limite consentito della vita del veicolo, con conseguenti maggiori richieste economiche da parte del manutentore, (si andrà così incontro a spese non previste dal piano di manutenzione effettuando un maggior numero di km negli anni di vita previsti). Visto che, nel nostro caso, l'azienda non decide di comprare autobus in sostituzione di quelli incendiati, man mano che gli autobus incendiati vengono sottratti al totale della flotta, si determina un aumento della percentuale di autobus da approntare quotidianamente dovendo comunque l' azienda fornire il servizio. La Namet, società responsabile della manutenzione, ha stipulato un contratto secondo il quale deve rendere disponibile quotidianamente un numero di veicoli pari al 90% della flotta, con un costo per la CTP di 0,41 Euro a chilometro per questa tipologia di autobus (0,37 €/km mediamente su tutta la flotta CTP); al ridursi della flotta in realtà la Namet per poter mantenere l'uscita giornaliera comunque costante, essendo questa fissata da esigenze di esercizio e frequenze delle linee, è costretta ad un superiore dispendio di risorse, vedi la maggior presenza di operai, la maggior velocità nell'approvvigionamento dei ricambi e alla minor possibilità di programmare gli interventi. Per cui per ogni punto percentuale di disponibilità giornaliera in aggiunta a quella contrattualmente richiesta la Namet stima un aumento del costo di manutenzione chilometrico pari a 0,007 Euro/km.

#### *8.3.1.1 Il contratto CTP – Namet*

Gli autobus da noi esaminati sono affidati dalla CTP alla Namet attraverso un contratto, definito di Full-Service che stabilisce le responsabilità di quest' ultima ed include : la manutenzione ordinaria, straordinaria e a caduta comprensiva della fornitura di tutte le parti di ricambio e dei materiali di consumo (lubrificanti, liquidi ecc.), la verifica giornaliera dei livelli degli oli, dei liquidi e relativi rabbocchi, la movimentazione dei mezzi in deposito ed il servizio pneumatico. La Namet, secondo il contratto stipulato, è tenuta all'osservanza delle procedure di qualità vigenti in CTP e a mantenere quindi i livelli di qualità aziendale, rilevando gli autobus al rientro dall'esercizio, per fine turno a qualsiasi altro servizio, direttamente dall'operatore di esercizio, redigendo poi un report degli interventi effettuati sui veicoli, in cui viene specificato il tipo di lavoro effettuato, le ore di manodopera prestate, i ricambi sostituiti, gli interventi effettuati in garanzia, i tempi di fermo presso di se o l'officina autorizzata e infine comunicando su apposito modello gli autobus impiegabili in esercizio, sottoscrivendone l'idoneità in termini di efficienza e sicurezza. Inoltre Namet riconosce a CTP il diritto di far controllare dai propri incaricati l'attuazione del programma delle lavorazioni alle scadenze previste e la perfetta esecuzione delle lavorazioni in termini di qualità e di materiali di ricambio impiegati nelle attività. Nel contratto, vengono anche definite le garanzie di servizio, in base alle quali Namet si impegna a garantire un indice di disponibilità giornaliero dei veicoli approntati per l'impiego in esercizio, che è funzione del periodo dell'anno e del giorno (feriale, festivo o sabato) e qualora non si rispetti il numero di uscite giornaliere, pagherà delle penalità; costituiscono eccezione a tali garanzie, quindi non imputabili a Namet, i fermi cosiddetti bonificati che non dipendono dal manutentore, ossia per urto e atto vandalico (inclusi invece in contratti di tipo Global Service), per interventi di garanzia, di natura amministrativa (collaudi),

per adeguamenti tecnologici suggeriti dal costruttore e decisi da CTP, per guasti ad obliteratrici e telecamere, o realizzazione di scritte pubblicitarie. Da contratto, andando al di sotto di una disponibilità del 90%, sono previsti 105 Euro di penale per ogni autobus non approntato, ma è consentito scendere sotto il 90% per un giorno al mese senza conseguenze, mentre per due giorni si incorre in penale perdendo un premio forfettario mensile (1800 Euro); nel caso specifico bisogna osservare che in 6 anni di contratto però, Namet è incorsa in soli due giorni di penali, pertanto possiamo considerarla una voce trascurabile della nostra analisi.

### *8.3.2 Analisi delle modifiche proposte e dei costi ad esse connessi e monetizzazzione*

Vediamo ora le modifiche da apportare all' autobus in esame, al fine di migliorare le condizioni di sicurezza, in particolare del vano motore, rendendone quindi più sicuro l'utilizzo da parte dei passeggeri e riducendo a valori trascurabili il rischio incendio e valutiamo inoltre il costo delle misure adottate in termini monetari :

- ✓ separazione del vano passeggeri dal vano motore attraverso paratia tagliafuoco e antifiamma, posta dietro al penta posto posteriore, in materiale non infiammabile, totalmente ignifugo e a ridotta tossicità dei fumi, che consente l'interruzione nella continuità dei materiali del padiglione e delle fiancate e compartimentazione delle vaschette dell'olio idroguida e idroventola in zona protetta e con bocchettoni di riempimento e indicatori del livello disposti in nicchia isolata e dotata di opportuno sistema antigocciolamento con un costo complessivo stimato in **4000 Euro**;

- ✓ ispessimento del pannello di insonorizzazione e di isolamento termico di lana minerale con un doppio strato e protezione del materiale coibente esterno con opportuna rete metallica di contenimento per aumentarne la resistenza e impedirne sfaldamenti, con un costo stimato complessivo di **1200 Euro**;
- ✓ sostituzione dei paraurti posteriore e posteriori laterali destro e sinistro in materiale plastico in lega leggera, con un costo stimato di circa **1000 Euro**;
- ✓ creazione di 2 griglie alettate sul portellone posteriore e 2 sulle predisposizioni dello sportello laterale sinistro posteriore al fine di un miglioramento della ventilazione naturale del motore con conseguente abbassamento delle temperature di esercizio presenti nel vano motore e creazione di appositi fori sul portellone del vano motore per intervenire manualmente dall'esterno inserendo le manichette degli estintori portatili senza aprirlo ed iniettarne il contenuto, evitando di alimentare l'incendio con ossigeno, con un costo stimato pari a **500 Euro**;
- ✓ installazione di un sensore di livello e elettrovalvola per i serbatoi idroventola e idroguida che interrompano il flusso dei fluidi più altamente infiammabili in caso di perdite e fuoriuscite lungo le tubazioni, con una spesa prevista comprensiva anche della manutenzione di **250 Euro**;
- ✓ installazione di un serbatoio in metallo, con sensore per il livello, in sostituzione di quello in plastica per l'olio idroguida, con un costo stimato di **100 Euro**;
- ✓ realizzazione, dove possibile, di tubazione metalliche (in rame e/o acciaio a maggiore resistenza alle alte temperature e con punti elastici che permettono di attenuare i pericoli delle vibrazioni) per i collegamenti relativi al trasporto dei liquidi

combustibili, in sostituzione di quelli attuali in plastica e gomma, con un costo stimato di **260 Euro**, anche se in realtà il costo della sostituzione delle tubazioni si ripaga da solo dato che le tubazioni metalliche (aventi un costo dalle $2 \div 5$ volte superiore a quelle in plastica) hanno una vita maggiore;

- ✓ sostituzione dei corrugati, all’interno dei quali vengono fatti passare i cavi elettrici e le tubazioni in materiale plastico, con corrugati autoestinguenti, con un costo stimato di **200 Euro**;
- ✓ ottimizzazione delle staffe e fissaggi aventi caratteristiche appropriate per meglio sostenere i cablaggi ed evitare danneggiamenti da tagli, abrasioni e contatti con superfici calde o potenzialmente tali, con un costo di manutenzione annuo di **50 Euro**;
- ✓ miglioramento del sistema automatico di estinzione dell’incendio nel vano motore attraverso l’installazione di un doppio serbatoio di estinguente con rilevazione possibilmente estesa a tutti i punti del vano con un miglior posizionamento delle sonde, in particolare nei punti più critici e più soggetti a pericolo di incendio ed anche lungo le pareti laterali destra e sinistra e fino al condizionatore, ed un maggior numero di ugelli, con una spesa prevista di **300 Euro** e un aumento del costo di manutenzione annuo di **50 Euro**;
- ✓ installazione di un sistema di rilevamento fumi nel vano motore, con un costo stimato di **500 Euro**;
- ✓ realizzazione di un comando di emergenza incendio, che con un'unica manovra possa attivare l’apertura delle botole del padiglione, delle porte e l’azionamento dell’ impianto di spegnimento del vano motore, con un costo stimato di **800 Euro**;

- ✓ revisione degli alternatori, (sostituzione spazzole, controllo del limitatore e dei campi, pulizia) alla metà (300.000 km) della vita utile e verifica del teleruttore dal costo di **240 Euro**;
- ✓ maggiori controlli visivi e ispettivi e lavaggi più frequenti per l'imbrattamento del vano motore al fine di meglio evidenziare eventuali perdite, con un costo annuale di **300 Euro**;

Per cui in definitiva possiamo riassumere con la successiva tabella le spese complessive necessarie per le nostre migliorie :

**Tabella 84 :** ***Riepilogo delle modifiche***

| MODIFICHE | COSTI FISSI [Euro] | COSTI VARIABILI [Euro/anno] |
|---|---|---|
| Antincendio | 300 | 50 |
| Comando emergenza | 800 | |
| Compartimentazione | 4000 | |
| Corrugati | 200 | |
| Griglie | 500 | |
| Manutenzione e lavaggi | | 300 |
| Pannello lana min. | 1200 | |
| Paraurti | 1000 | |
| Revisione alternatori-teleruttore | | 240 euro ogni 300.000 km |
| Sensori e valvole | 250 | |
| Serbatoio | 100 | |
| Sist. rilevamento fumi | 500 | |
| Staffe e fissaggi | | 50 |
| Tubazioni | 260 | |

In definitiva si determinano le seguenti spese complessive :

- ✓ 9110 Euro di spese fisse complessive;
- ✓ 400 Euro di spese variabili annue:
- ✓ 240 Euro di spese variabili da sostenersi ogni 300000 km.

**Tabella 85 :** ***Tabella riepilogativa dei costi***

| Anno | Quantità bus | Costi unitari (Euro) | Costi totali annui (Euro) | Somma progressiva costi (Euro) |
|---|---|---|---|---|
| 1 a 4 | 52 | | | |
| 5 e 6 | 49 | | | |
| 7 | 48 | 9350 | 458150 | 458150 |
| 8 | 48 | 400 | 19200 | 477350 |
| 9 | 48 | 400 | 19200 | 496550 |
| 10 | 48 | 400 | 19200 | 515750 |
| 11 | 48 | 400 | 19200 | 534950 |
| 12 | 48 | 640 | 30720 | 565670 |
| 13 | 48 | 400 | 19200 | 584870 |
| 14 | 48 | 400 | 19200 | 604070 |
| 15 | 48 | 400 | 19200 | 623270 |
| **TOTALI** | | **12790** | | **623270** |

#### *8.3.2.1 Ulteriori proposte*

Ulteriori modifiche da valutare attentamente e da adottarsi in progettazione, auspicabili ai fini della prevenzione incendi e del miglioramento della sicurezza, da suggerirsi sia alle aziende produttrici, sia alle aziende di trasporto per i futuri capitolati, ma che non risultano fattibili dati i costi per l’autobus in esame sono :

- ✓ la realizzazione di un opportuno sistema di monitoraggio termico del vano motore, che consenta di migliorare la sicurezza e ridurre la gravità dei danni, attraverso un sistema di trasduttori termosensibili posti in comunicazione con la black-box, che rilevate eventuali anomalie di tipo termico e superati determinati valori di soglia, consentano l’attivazione del segnale di allarme, il bloccaggio del flusso delle sostanze combustibili e dell’energia elettrica con un costo stimato complessivo, per i nuovi componenti e il software per il rilevamento della temperatura, di **3000 Euro**;

- ✓ l'installazione di impianti di spegnimento automatici a $CO_2$ la cui immissione in spazi chiusi e facilmente saturabili determina un rapido abbassamento delle temperature, con un costo di **700 Euro**;
- ✓ l' utilizzo di materiali non infiammabili, con una minore tossicità dei fumi e con una velocità di propagazione delle fiamme attraverso di essi compresi nel range $70 \div 75$ mm/min in luogo di quella attuale di 100 mm/min prevista per gli interni degli autobus dalla normativa vigente e utilizzo di opportuni ritardanti o inibitori di fiamma e vernici non infiammabili, ma difficilmente quantizzabile in quanto trattasi di impegno che le case costruttrici devono assumersi anche rispetto a dei capitolati sempre più restrittive e alla normativa vigente in materia;
- ✓ la realizzazione di vani tecnici di dimensione adeguate che consentano di evitare l'eccessivo affollamento delle apparecchiature, che determinerebbe da un lato una riduzione del numero dei passeggeri totali teoricamente trasportabili ma dall'altro compenserebbe ampiamente in termini di benefici per l'affidabilità e manutenibilità degli autobus in quanto con vani tecnici più ordinati, le varie apparecchiature, i cavi, i cablaggi e le tubazioni verrebbero ad essere disposti in maniera più razionale e lontani dalle fonti di calore;
- ✓ una maggiore attenzione nell' istallazione dell' impianto elettrico con l'adozione di norme interne o Standard internazionali e miglioramento del layout dei cablaggi.

Per cui tenendo conto solo delle migliorie facilmente monetizzabili si determina un quadro complessivo dei costi riassumibile nella seguente tabella:

**Tabella 86 :** ***Riepilogo costi con proposte aggiuntive***

| Anno | Quantità bus | Costi unitari | Costi totali annui |
|---|---|---|---|
| 7 | 48 | 13.050 | 639.450 |
| 8 | 48 | 400 | 19.200 |
| 9 | 48 | 400 | 19.200 |
| 10 | 48 | 400 | 19.200 |
| 11 | 48 | 400 | 19.200 |
| 12 | 48 | 640 | 30.720 |
| 13 | 48 | 400 | 19.200 |
| 14 | 48 | 400 | 19.200 |
| 15 | 48 | 400 | 19.200 |
| **TOTALI** | | **16.490** | **804.570** |

### *8.3.3 Analisi dei benefici*

Per la valutazione dei benefici derivanti dalle modifiche apportate, andrebbero valutate le perdite che l'azienda subisce in caso di incendio, ma i benefici che prenderemo in considerazione, costituiti dai *minori danni ai beni materiali* (valore dei veicoli danneggiati e/o distrutti nell'incendio) e dal *minor costo di manutenzione* associato ad una minore disponibilità di veicoli della flotta, sono solo quelli immediatamente monetizzabili, aventi un valore economico evidente, sottostimando quindi i reali benefici che a rigore dovrebbero prendere in considerazione tutti quelli derivanti dalle mancate perdite associate all' incendio di un mezzo e quindi non si prenderanno in considerazione voci come la *perdita d'immagine* e benefici indiretti correlati ai risparmi dei costi derivanti dalle conseguenze dell'incendio come *eventuali danni a persone e/o cose coinvolte* e tutti gli altri costi indotti dovuti all' erogazione di un servizio non efficace. In base agli incendi avvenuti alla CTP ai fini della monetizzazione dei benefici in definitiva, vista anche l'assenza di danni a persone e veicoli presenti in strada, faremo l'ipotesi di considerare solo i

*danni materiali* trascurando i costi immateriali legati all'immagine e alla sicurezza e riterremo che le migliorie apportate rendano il rischio d' incendio trascurabile. Teniamo presente che in realtà a rigore, vista anche il livello di pericolosità raggiunto dagli incendi in esame e le possibili conseguenze che potrebbero derivarne da tale tipologia di eventi, andrebbero considerati sia i costi della non sicurezza potendo essere particolarmente onerosi e gravi specialmente in caso di conseguenze mortali sia i danni d'immagine che subirebbe l'azienda in caso di servizio poco affidabile, che risultano spesso onerosi ma di difficile valutazione essendo legati al disservizio percepito direttamente dal cliente.

### *8.3.3.1 Determinazione tasso d'incendio e valore autobus*

Per il calcolo dei benefici è utile la determinazione del *tasso d'incendio annuo* $\Phi$, ossia della percentuale di flotta andata distrutta anno per anno : indicando con

- ✓ N flotta complessiva di autobus in esame iniziale;
- ✓ $\Delta T$ arco temporale di riferimento;
- ✓ n autobus incendiati nel periodo in esame;

risulta :

$$\Phi = \frac{n}{\Delta T \cdot N} . 100$$

nel nostro caso si ha :

- ✓ N = 52 bus;
- ✓ $\Delta T$ $[2002 \div 2009]$ = 7 anni;
- ✓ n = 4 bus;

per cui in definitiva :

$$\Phi = \frac{4}{7 \cdot 52} . 100 = 1.1\%$$

Ai fini del calcolo del *valore unitario annuale degli autobus* si utilizzerà una formula fornita dalla EAV che consente di determinare anno per anno il valore attuale dei mezzi :

$$V_n = \frac{V_o \cdot (18 - n)}{18};$$

in cui

- ✓ $V_n$ è il valore dell'autobus all'anno n;
- ✓ $V_o$ è il valore iniziale dell'autobus;
- ✓ n anno di riferimento.

Nella CTP la formula viene leggermente modificata tenendo conto della reale vita utile degli autobus :

$$V_n = \frac{V_o \cdot (15 - n)}{15}$$

#### *8.3.3.2 Calcolo dei benefici materiali*

Tenendo conto del tasso d'incendio annuo e del valore degli autobus anno per anno, nella tabella successiva sono stati calcolate le perdite per l'azienda di beni materiali associate agli incendi e di conseguenza i benefici annui, nelle ipotesi viste precedentemente, derivanti dall' azzeramento del rischio incendio, che quindi risultano dal prodotto del tasso d'incendio annuo $\Phi = 1{,}1\%$ per il valore totale annuo degli autobus e che diminuiscono progressivamente nel tempo per la svalutazione degli autobus anno per anno ed infine i benefici complessivi, a partire dalle modifiche, al termine della vita utile :

**Tabella 87 :** ***Benefici beni materiali***

| Anno | Quantità bus | Valore unitario bus (Euro) | Valore totale bus (Euro) | Benefici beni materiali (Euro) (tasso incendio 1,1) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 52 | 250.000 | 13.000.000 | 143.000 |
| 2 | 52 | 216.667 | 11.266.667 | 123.933 |
| 3 | 52 | 200.000 | 10.400.000 | 114.400 |
| 4 | 52 | 183.333 | 9.533.333 | 104.867 |
| 5 | 49 | 166.667 | 8.166.667 | 89.833 |
| 6 | 49 | 150.000 | 7.350.000 | 80.850 |
| 7 | 48 | 133.333 | 6.400.000 | **70.400** |
| 8 | 48 | 116.667 | 5.600.000 | **61.600** |
| 9 | 48 | 100.000 | 4.800.000 | **52.800** |
| 10 | 48 | 83.333 | 4.000.000 | **44.000** |
| 11 | 48 | 66.667 | 3.200.000 | **35.200** |
| 12 | 48 | 50.000 | 2.400.000 | **26.400** |
| 13 | 48 | 33.333 | 1.600.000 | **17.600** |
| 14 | 48 | 16.667 | 800.000 | **8.800** |
| 15 | 48 | 12.500 | 600.000 | **6.600** |
| **Totale benefici a partire dall'anno di modifica** | | | | **323.400** |

### *8.3.3.3 Calcolo benefici legati alla manutenzione*

Nella tabella successiva sono stati determinati gli ulteriori benefici legati all' assenza del costo aggiuntivo di manutenzione della flotta per l'aumento di disponibilità in caso di incendio, che determinerebbe un aumento della percentuale di autobus da approntare quotidianamente. Per cui anno per anno, a partire dall' anno in cui si effettua la modifica, dovendo la Namet rendere disponibile quotidianamente un numero di veicoli pari al 90% della flotta (48 bus), ossia 43, noto il tasso di incendio annuo, si è determinato il numero di bus non incendiati grazie alla modifica e ai controlli suppletivi, (e quindi la quantità di bus presente in caso di incendio se non si effettua la modifica); successivamente, dovendo la quantità di bus da approntare per il servizio essere sempre

pari al 90%, si è determinata la percentuale di approntamento, che bisognerebbe attuare per garantire sempre la presenza dei 43 bus, al diminuire della flotta e il relativo incremento percentuale e quindi noto il costo aggiuntivo chilometrico per l'approntamento (0,007 €/km), il costo per l'approntamento superiore (€/km); infine, noto il numero di km annui medi di percorrenza, si è determinato il costo aggiuntivo per bus all'anno ed il costo aggiuntivo della flotta totale per l'aumento percentuale di disponibilità.

**Tabella 88 :** ***Costi di manutenzione aggiuntiva in caso di incendio***

| Anno | Quantità bus se si effettua la modifica e controlli suppletivi | Bus non incendiati ad opera della modifica e controlli suppletivi (1,1%) | Quantità bus se NON si effettua la modifica e controlli suppletivi | Bus da approntare per servizio di TPL 90% | % Approntamento da attuare per garantire sempre 43 bus al diminuire della flotta | Delta % Approntamento da attuare | Costo per % approntamento superiore [€/km] | Costo aggiuntivo per bus /anno | Costo aggiuntivo della flotta per aumento % disponibilità |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 48 | 0,528 | 47,47 | 43 | 0,9058 | 0,58 | 0,0040580 | 243 | 11.558 |
| 8 | 48 | 1,056 | 46,94 | 43 | 0,9160 | 1,60 | 0,0111895 | 671 | 31.517 |
| 9 | 48 | 1,584 | 46,42 | 43 | 0,9264 | 2,64 | 0,0184833 | 1.109 | 51.475 |
| 10 | 48 | 2,112 | 45,89 | 43 | 0,9371 | 3,71 | 0,0259449 | 1.557 | 71.434 |
| 11 | 48 | 2,64 | 45,36 | 43 | 0,9480 | 4,80 | 0,0335802 | 2.015 | 91.392 |
| 12 | 48 | 3,168 | 44,83 | 43 | 0,9591 | 5,91 | 0,0413954 | 2.484 | 111.350 |
| 13 | 48 | 3,696 | 44,30 | 43 | 0,9706 | 7,06 | 0,0493969 | 2.964 | 131.309 |
| 14 | 48 | 4,224 | 43,78 | 43 | 0,9823 | 8,23 | 0,0575914 | 3.455 | 151.267 |
| 15 | 48 | 4,752 | 43,25 | 43 | 0,9943 | 9,43 | 0,0659859 | 3.959 | 171.226 |
| Costo totale | | | | | | | | | 822.528 |

### *8.3.3.4 Benefici complessivi*

Nella tabella successiva, noti i benefici legati ai beni materiali e al mancato incremento di disponibilità, sono stati calcolati i benefici totali, a partire dall' anno della modifica :

**Tabella 89 : *Riepilogo Benefici***

| Anno | Benefici beni materiali (tasso1,1) - non si sono bruciati ulteriori bus | Benefici mancato incremento richiesta disponibilità bus | Benefici totali |
|---|---|---|---|
| 7 | 70.400 | 11.558 | **81.958** |
| 8 | 61.600 | 31.517 | **93.117** |
| 9 | 52.800 | 51.475 | **104.275** |
| 10 | 44.000 | 71.434 | **115.434** |
| 11 | 35.200 | 91.392 | **126.592** |
| 12 | 26.400 | 111.350 | **137.750** |
| 13 | 17.600 | 131.309 | **148.909** |
| 14 | 8.800 | 151.267 | **160.067** |
| 15 | 6.600 | 171.226 | **177.826** |

### *8.3.4 Sconto intertemporale e calcolo del VAN*

L'analisi dei costi-benefici richiede il confronto di costi e benefici che si verificano in momenti di tempo diversi, visto che le misure adottate hanno conseguenze ed effetti che si estendono su un orizzonte temporale comprendente diversi anni. Pertanto è necessario attraverso un'operazione detta di sco*nto intertemporale*, rendere pienamente confrontabili grandezze monetarie disponibili in momenti diversi. Nella nostra analisi, il momento temporale di riferimento cui ricondurre le varie poste, è il momento di inizio dell'investimento (tempo zero), per cui si parlerà di *attualizzazione* per indicare lo sconto intertemporale effettuato rispetto al tempo zero e la singola posta riferita al tempo zero viene definita *valore attuale*.

Il Van richiede l'indicazione di un tasso di sconto ed esso generalmente corrisponde al costo del denaro che il soggetto che effettua la spesa deve sostenere (nel caso di denaro di proprietà del soggetto stesso, il costo sarà il costo-opportunità, ovvero il tasso al quale si sarebbe potuto far fruttare nel migliore dei modi alternativi il denaro: in genere si assume il tasso

medio di un paniere di titoli a rendimento fisso). Nella tabella successiva si è proceduto al calcolo del VAN rappresentato poi anche graficamente :

**Tabella 90 :** ***Calcolo del VAN ( i = 3%)***

| Anno | Benefici totali | Costi totali | Profitti | Attualizzazione (r=3) | VAN (0,03) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 81.958 | 458.150 | -376.192 | -376.192 | -376.192 |
| 8 | 93.117 | 19.200 | 73.917 | 71.764 | -304.428 |
| 9 | 104.275 | 19.200 | 85.075 | 80.192 | -224.236 |
| 10 | 115.434 | 19.200 | 96.234 | 88.067 | -136.169 |
| 11 | 126.592 | 19.200 | 107.392 | 95.416 | -40.752 |
| **12** | 137.750 | 30.720 | 107.030 | 92.325 | **51.573** |
| **13** | 148.909 | 19.200 | 129.709 | 108.629 | **160.202** |
| **14** | 160.067 | 19.200 | 140.867 | 114.538 | **274.740** |
| **15** | 177.826 | 19.200 | 158.626 | 125.221 | **399.960** |

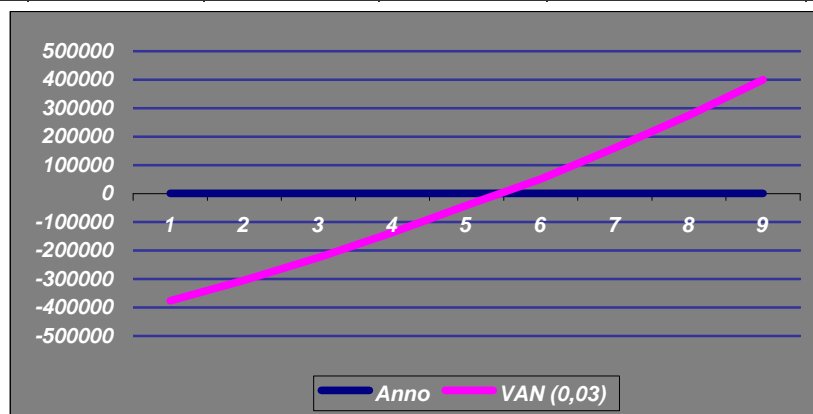



**Figura 125 :** ***Grafico del VAN (i = 3%)***

Come si evince dalla tabella e dal grafico il VAN è positivo tra il quinto e sesto anno a partire dalla modifica, dopodiché risulta sempre positivo, con andamento crescente. La stessa logica è stata applicata nel caso dell' ulteriore proposta di reingegnerizzazione, ma in questo caso il VAN risulta positivo alla fine del settimo anno di modifica, quindi solo negli ultimi due anni di vita utile.

**Tabella 91 :** ***Calcolo del VAN con le proposte aggiuntive***

| Anno | Benefici totali | Costi totali | Profitti | Attualizzazione (r=3) | VAN (0,03) |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 81.958 | 639.450 | -557.492 | -557.492 | -557.492 |
| 8 | 93.117 | 19.200 | 73.917 | 71.764 | -485.728 |
| 9 | 104.275 | 19.200 | 85.075 | 80.192 | -405.536 |
| 10 | 115.434 | 19.200 | 96.234 | 88.067 | -317.469 |
| 11 | 126.592 | 19.200 | 107.392 | 95.416 | -222.052 |
| 12 | 137.750 | 30.720 | 107.030 | 92.325 | -129.727 |
| 13 | 148.909 | 19.200 | 129.709 | 108.629 | -21.098 |
| **14** | 160.067 | 19.200 | 140.867 | 114.538 | **93.440** |
| **15** | 177.826 | 19.200 | 158.626 | 125.221 | **218.660** |

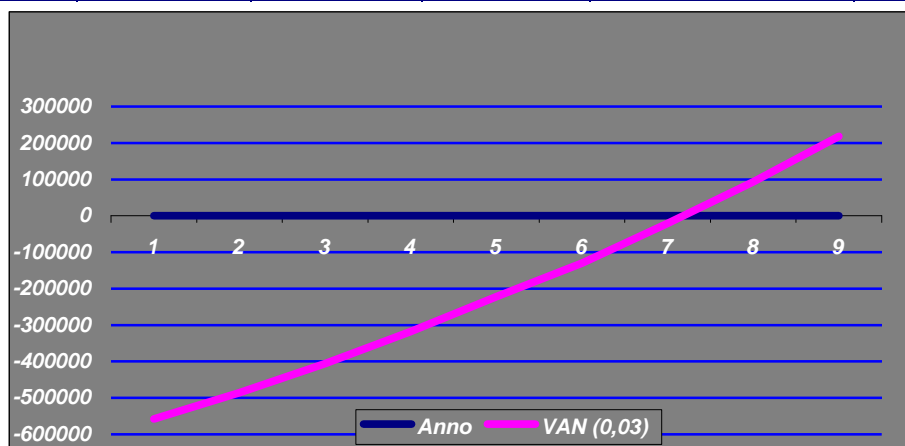



**Figura 126 :** ***Grafico del VAN (i =3%) proposta B***

### *8.3.5 Analisi di rischio*

Questa analisi viene effettuata al fine di tener presente che il rischio incendio per effetto delle modifiche fatte, seppur molto vicino allo zero, comunque non è mai nullo per cui, secondo uno degli orientamenti economici prevalenti se ne terrà conto, includendo la misura del rischio nel tasso di sconto intertemporale usato per l’attualizzazione, maggiorandolo opportunamente, e poiché la sua determinazione esatta richiederebbe procedure analitiche complesse e costose in termini di tempo, ci riferiremo ai valori prescritti da agenzie governative che

sovraintendono le valutazioni pubbliche. Per cui coerentemente con le indicazioni della “Guida all’analisi costi-benefici dei progetti di investimento”[3] è stata operata la scelta del tasso di sconto in base al quale sono state effettuate le operazioni di attualizzazione dei flussi di cassa generati dal progetto. Tale tasso è stato fissato al 5%, che rappresenta un adeguato rendimento finanziario di un investimento del settore, prendendo a base il tasso fornito dalla Banca Europea degli Investimenti (BEI) sull’emissione di prestiti obbligazionari e finanziamento di interventi nel settore.

**Tabella 92 :** ***Calcolo del VAN (i = 5%)***

| Anno | Profitti | Attualizzazione (r=5) | VAN (0,05) |
|---|---|---|---|
| 7 | -376.192 | -376.192 | -376.192 |
| 8 | 73.917 | 70.397 | -305.795 |
| 9 | 85.075 | 77.166 | -228.629 |
| 10 | 96.234 | 83.130 | -145.499 |
| 11 | 107.392 | 88.352 | -57.147 |
| **12** | 107.030 | 83.861 | **26.714** |
| **13** | 129.709 | 96.791 | **123.505** |
| **14** | 140.867 | 100.112 | **223.616** |
| **15** | 158.626 | 107.364 | **330.980** |

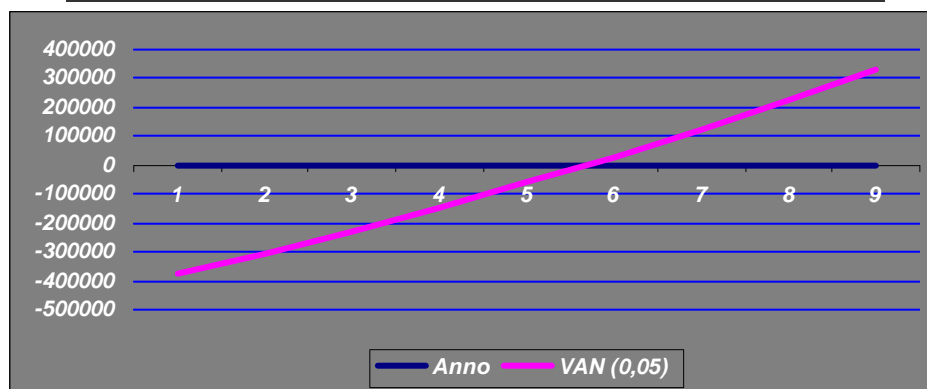



**Figura 127 :** ***Grafico del VAN ( i = 5% )***

[3] Guide to cost-benefit analysis of investment projects, Evaluation Unit - DG Regional Policy – European Commission.

Ancora una volta, come visto in precedenza, si evince, dalla tabella e dal grafico, che il VAN è positivo tra il 5° e 6° anno a partire dalla modifica, dopodiché risulta sempre positivo, con andamento crescente. Il confronto tra i due casi, mostrato nella figura successiva, evidenzia le modeste variazioni tra i due casi di VAN al 3% e 5%.

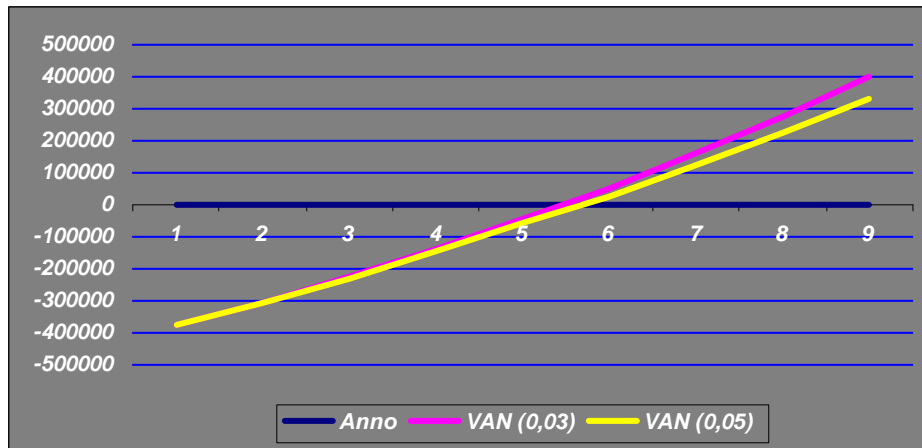



**Figura 128 :** ***Confronto VAN (3% e 5%)***

Anche nel caso della proposta con ulteriori modifiche la situazione non sembra cambiare di molto, con un VAN positivo negli ultimi due anni di vita dei veicoli e con un’ incidenza trascurabile della variazione del tasso di interesse dal 3% al 5%, come evidenziato nella tabella e grafico seguenti.

**Tabella 93 :** ***Calcolo del VAN (5%) nel caso B di ulteriori modifiche***

| Anno | Attualizzazione (r=5) | VAN (0,05) |
|---|---|---|
| 7 | -557.492 | -557.492 |
| 8 | 70.397 | -485.728 |
| 9 | 77.166 | -408.562 |
| 10 | 83.130 | -325.432 |
| 11 | 88.352 | -237.080 |
| 12 | 83.861 | -153.219 |
| 13 | 96.791 | -56.428 |
| **14** | 100.112 | **43.683** |
| **15** | 107.364 | **151.047** |

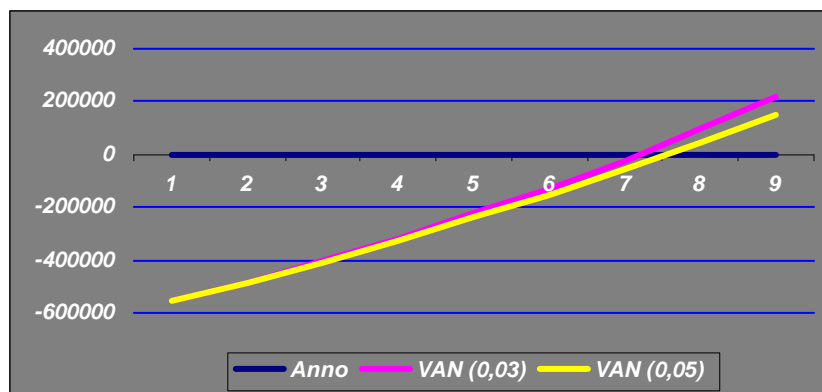



**Figura 129 :** ***Confronto VAN (5%) caso B***

### *8.3.6 Analisi di sensitività*

Con questa analisi si vuole si vuole verificare la sensibilità del risultato finale dell'ACB (VAN) alle assunzioni fatte nell'analisi, analizzando che il segno del VAN non muti a seguito di variazioni nelle variabili considerate e quindi verificando la robustezza e l' affidabilità dei risultati. I principali scopi dell'analisi di sensibilità sono quindi quelli di comprendere :

- ✓ quali sono le variabili che maggiormente influenzano la redditività economica dell'investimento;
- ✓ come si modificano gli indici di redditività dell'investimento nel caso in cui i valori delle variabili di input differiscano significativamente da quelli ipotizzati (con particolare riferimento, naturalmente, alle variabili di cui al punto precedente).

Si tratta dunque di un approccio volto a trattare l'incertezza di uno o più elementi caratteristici del progetto e a determinare gli effetti di tale incertezza sull'impatto atteso del progetto stesso. I parametri utilizzati sono appunto quelli dell' analisi costi-benefici, pertanto si è considerata una variazione del tasso d' interesse, una maggiorazione o diminuzione dei costi iniziali di investimento, o una variazione dei benefici e quindi legati a una variazione dei costi di manutenzione, del tasso d'incendio,

del costo dell' autobus e del numero di chilometri percorsi. Per cui con la logica precedente, ritenendo inutile mostrare calcoli, tabelle e grafici ripetitivi, si è supposto una variazione del 20% positiva e negativa delle principali variabili in gioco e con un foglio di calcolo sono stati aggiornati i valori del VAN per ogni singola variazione e calcolati gli scarti percentuali rispetto alla nostra ipotesi iniziale di investimento. Dal diagramma seguente, in cui viene quindi mostrato la variazione del VAN per effetto di una variazione positiva o negativa del 20% delle principali variabili e l'analisi dei valori  conferma il mantenimento di un VAN positivo anche in presenza di variazioni significative delle variabili del progetto, a conferma della robustezza del risultato e della fattibilità del progetto.

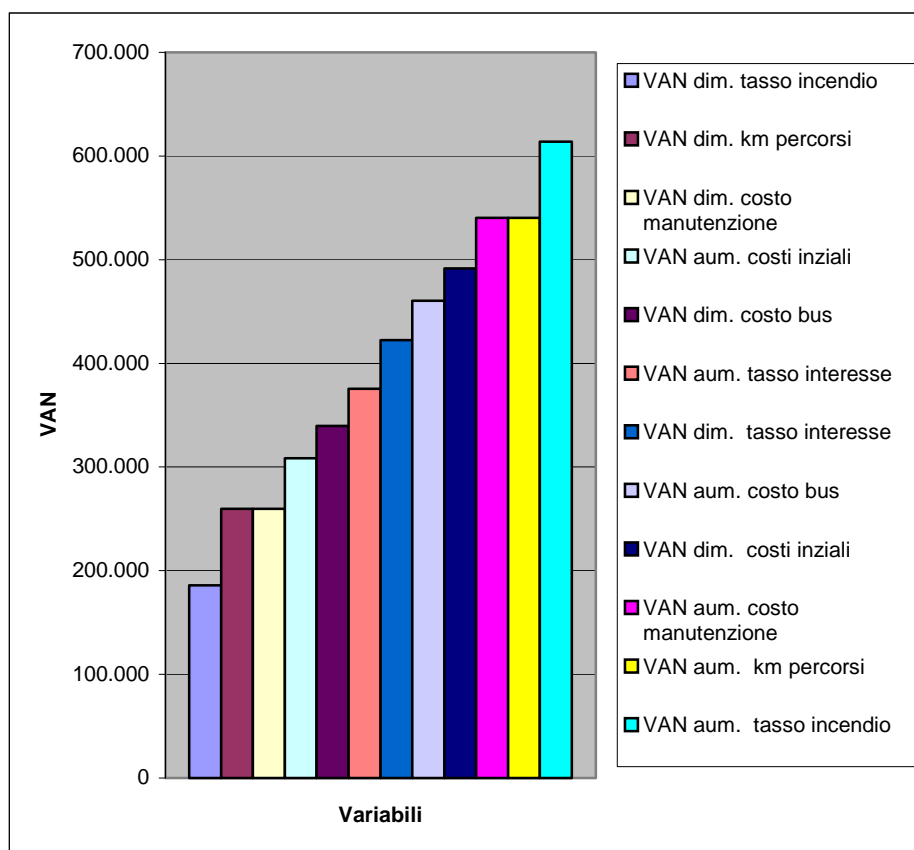



**Figura 130 :** ***Andamento del VAN per effetto di una variazione del 20% delle variabili***

Nella figura successiva, viene invece proposto il raffronto tra il VAN di riferimento corrispondente alla nostra proposta di miglioria e i VAN conseguenti alla variazione del 20% delle variabili in gioco.

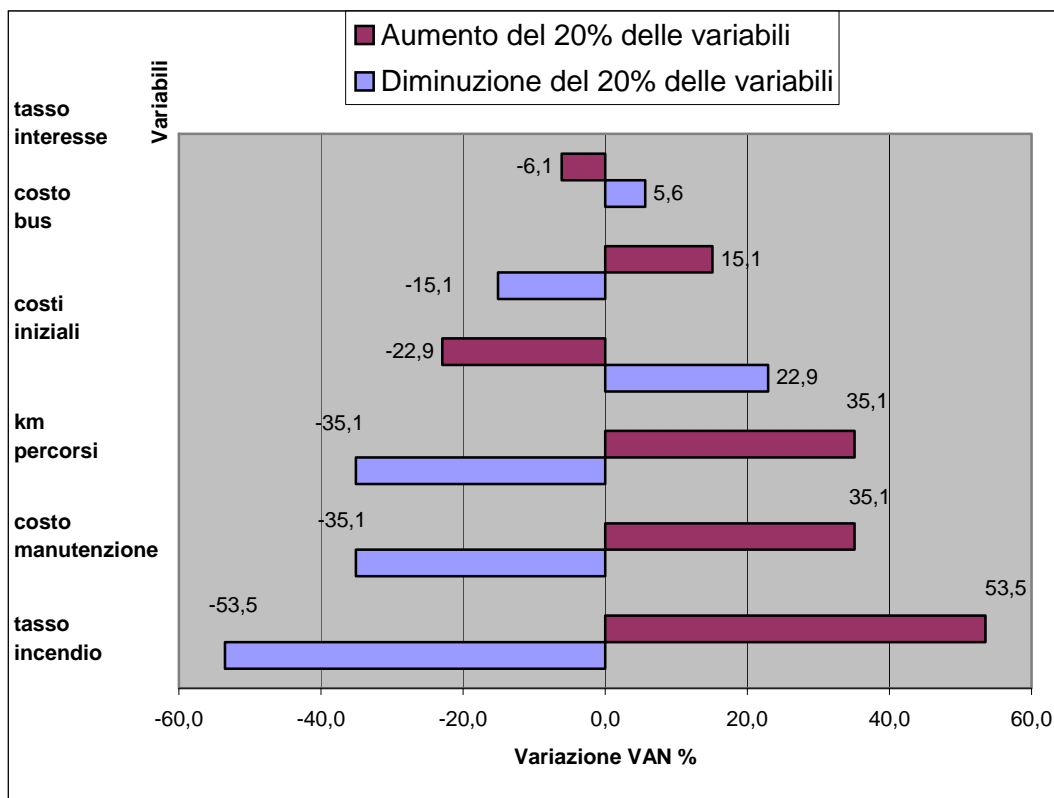



**Figura 131 :** ***Variazione % del VAN per effetto della variazione delle variabili***

Dal diagramma possono trarsi le seguenti considerazioni :

- ✓ la variabile che maggiormente influenza il nostro Van è il tasso d'incendio ed essendo ad esso legato in maniera più che proporzionale, quanto più alto esso risulta, tanto più è giustificato l'intervento migliorativo;
- ✓ il costo aggiuntivo di manutenzione serve per garantire al cliente di TPL la fruibilità del quantitativo minimo di autobus necessario a coprire il servizio in una determinata zona di esercizio. Come si è ampiamente descritto precedentemente, all'aumentare dei bus incendiati diminuisce la disponibilità dei

bus di riserva per cui occorre incrementare la percentuale di approntamento e l'aumento di essa comporta uno sforzo aggiuntivo superiore, valutato in 0,007 €/km per un intervallo di approntamento dal 90 al 99%, costi che rappresentano, nel caso decidessimo di attuare le modifiche migliorative, una quota di benefici ottenuti. Quindi il grafico mostra che maggiore è il costo da sostenere per coprire il servizio maggiore è la convenienza ad attuare le modifiche;

- ✓ analogo discorso vale nel caso dei km percorsi, in quanto all'aumentare di essi, aumenta la convenienza ad effettuare le modifiche, aumentando l'efficienza del mezzo;
- ✓ al diminuire delle spese per le migliorie si determina un aumento del VAN, quindi occorrerà trovare il giusto compromesso tra il costo delle modifiche e la loro efficacia in maniera tale da massimizzare l'aumento del VAN;
- ✓ al diminuire del costo dell'autobus diventa man mano sconveniente effettuare delle modifiche e converrebbe valutare soluzioni alternative quali la permuta con altre tipologie di autobus;
- ✓ le variazioni del tasso d' interesse confermano quanto visto con l'analisi del rischio, della scarsa incidenza della variabile stessa sul VAN.

Dall' analisi dei costi-benefici e dal calcolo dell'indice precedentemente visto, la reingegnerizzazione degli autobus risulta quindi fattibile, riuscendo a remunerare l'investimento totale, per cui dovrebbero essere individuate le coperture finanziarie necessarie al sostegno dell' intervento, la cui realizzazione è giustificata anche da un giudizio di desiderabilità sociale del progetto, apportando benefici alla sicurezza complessiva dei veicoli.

# Capitolo 9
# Il settore ferrotranviario

## 9.1 LE NORME DEL SETTORE FERROTRANVIARIO

Nel settore dei trasporti si è sempre avvertita la necessità di attuare misure preventive che potessero ridurre o limitare i rischi e le conseguenze di un incendio, soprattutto in quelle situazioni in cui si presenta una limitata possibilità di evacuazione e dove le variabili tempo e ventilazione possono influire sullo scenario di una tragedia. L' esigenza di elaborare una norma sulla protezione al fuoco di veicoli ferrotranviari si è resa indispensabile a seguito della sempre maggiore diffusione dei sistemi di trasporto urbano e suburbano a via guidata e della relativa innovazione nel campo dei materiali impiegati. Molteplici casi avvenuti anche negli ultimi tempi rendono tragicamente di attualità quanto viene periodicamente discusso all'interno di commissioni ufficiali e regolamentato attraverso specifiche tecniche e direttive comunitarie che impongono come interesse primario, sia per i costruttori che per i produttori, la salvaguardia e l' incolumità della vita umana. Le principali reti ferroviarie europee si sono allora trovate di fronte al problema di come limitare la probabilità che i materiali impiegati per la costruzione del mezzo ferroviario potessero divenire fonti di innesco di un incendio, anche perché la mancanza di una direttiva comunitaria, determinava l' applicazione in tutti i paesi di specifiche differenti per il rispetto della protezione al fuoco. Per cui lo sforzo congiunto con gli enti normatori è stato quindi quello di identificare i requisiti di resistenza al fuoco e di

emissione di fumi, e di creare delle prove per mezzo delle quali poter classificare i vari materiali. Il mezzo ferroviario finisce in questo modo per contraddistinguersi per il livello di sicurezza raggiunto grazie alle rigorose regole di esercizio e alla sua affidabilità tecnica [125 e 126]. L'UNIFER, (Ente di Unificazione del Materiale Ferrotranviario) con la partecipazione delle diverse parti coinvolte (industria ferroviaria, esercenti dei sistemi ferroviari e laboratori di prova) ha elaborato recentemente sull'argomento tre progetti di norma, denominate "Linee guida per la protezione al fuoco dei veicoli ferrotranviari ed a via guidata", che costituiscono le tre parti della norma **UNI CE11170 : 2005**:

- ✓ **Parte 1: "**Principi generali" che definisce le misure da adottare a bordo dei veicoli per trasporto ferrotranviario ed a via guidata, per limitare il rischio d'incendio a bordo e per proteggere efficacemente i passeggeri ed il personale di servizio. Le misure di protezione indicate nella norma si applicano a tutti i veicoli di nuova costruzione e non ai veicoli in esercizio e a quelli in fase di fornitura o oggetto di contratto in data antecedente alla pubblicazione della norma stessa, salvo quanto diversamente concordato tra la società di trasporto ed il fornitore. In particolare riguardano il comportamento al fuoco dei materiali e dei componenti della parte di allestimento e di quella elettrica, la resistenza al fuoco delle barriere al fuoco e degli elementi sparti fiamma, gli accorgimenti progettuali e di design, le misure di protezione per gli impianti elettrici ed elettronici, le misure di estinzione, controllo ed informazione (per esempio, freno di emergenza, sistemi di estinzione, sistema di ventilazione, ecc.).
- ✓ **Parte 2: "**Accorgimenti progettuali, Misure di contenimento dell'incendio, sistemi di segnalazione, controllo ed evacuazione" che fornisce i requisiti minimi, in funzione del livello di rischio del

veicolo in conformità alla parte, che devono essere soddisfatti per minimizzare il rischio che un incendio si sviluppi in un veicolo, contenerlo, nel caso si sviluppi, per il tempo necessario a permettere l'evacuazione dei passeggeri e del personale di bordo, fornire gli ausili necessari all'estinzione dell'incendio e/o ad una rapida e sicura evacuazione dal veicolo.

- ✓ **Parte 3:** Valutazione del comportamento al fuoco dei materiali e limiti di accettabilità, che definisce i metodi di prova per la valutazione in laboratorio del comportamento al fuoco dei materiali e ne stabilisce i criteri di giudizio, riferiti alle specifiche condizioni d'uso ed alla specifica categoria operativa e alla tipologia del veicolo. La valutazione e la classificazione dei materiali secondo le procedure definite in questa parte della norma non hanno lo scopo di stabilire i livelli assoluti del rischio d'incendio generato dai materiali posti in opera, bensì quello di fornire indicazioni atte a limitare il rischio d'incendio a bordo dei veicoli e di proteggere, nel modo più efficace possibile, i passeggeri ed il personale di servizio. I metodi di prova indicati devono essere applicati per tutti i materiali/componenti strutturali e non strutturali utilizzati per la costruzione di nuovi veicoli e per la ristrutturazione di quelli già in esercizio, nonché a quelli utilizzati per la normale ricambistica.

Non è necessario sottoporre alle prove previste nella norma i prodotti combustibili la cui collocazione a bordo di un mezzo segue i seguenti criteri :

- ✓ prodotti con massa unitaria minore di 100 g utilizzati all'interno di apparecchiature meccaniche, elettriche, elettroniche, elettromeccaniche, pneumatiche o elettro-pneumatiche, contenute in involucri metallici chiusi e non accessibili da parte del personale

di bordo e dei passeggeri, posizionate internamente alla cassa del veicolo;

- ✓ prodotti con massa unitaria minore di 1000g utilizzati all'interno di apparecchiature meccaniche, elettriche, elettroniche, pneumatiche, elettro-pneumatiche, elettromeccaniche, contenute all'interno di involucri metallici chiusi e non accessibili da parte del personale di bordo e dei passeggeri, posizionate esternamente alla cassa del veicolo.

La filosofia utilizzata per la costruzione di questa specifica prende come riferimento dei livelli di rischio in base ai quali vengono definiti dei requisiti e metodi di prova che consentono di descrivere i principali parametri valutativi; ad esempio 3 livelli di rischio da LR 1 a LR 3 derivano dai differenti tempi di permanenza previsti per le categorie operative, dalla presenza o meno di gallerie e viadotti e quindi la facilità di evacuazione dei passeggeri e dello staff, dalla tipologia del treno se speciale oppure normale. I principali metodi di prova [127] in ambito ferrotranviario, per i **materiali di allestimento** , sono le seguenti :

**Tabella 94** ***: I metodi di prova in ambito ferroviario per i materiali di allestimento.***

| TITOLO | METODO DI PROVA | INDICAZIONI |
|---|---|---|
| Non combustibilità | EN ISO 1182 | si determina l'incremento di temperatura nel forno a 750°C, persistenza di fiamma e perdita di massa |
| Reazione al fuoco dei rivestimenti parete, soffitto, pavimento | UNI 8457<br>UNI 9154 | si determinano i valori di velocità di propagazione di fiamma, zona danneggiata, post combustione e post incandescenza. |
| Reazione al fuoco per i tendaggi | UNI 8456<br>UNI 9174 | si determinano i valori di velocità di propagazione di fiamma, zona danneggiata, post combustione e post incandescenza e gocciolamento |
| Reazione al fuoco per | UNI 9175 | si determinano i valori di combustione a 3 |

| | | |
|---|---|---|
| mobili imbottiti e rivestimenti sedute | | differenti applicazioni di fiamma 20-80-140 secondi |
| Accendibilità per componenti di dimensioni ridotte e non riconducibili alle campionature standars | UNI EN ISO 11925-2 | Valutazione del comportamento ad attacchi di fiamma da 15 a 30 secondi |
| Tenuta al fuoco di sedute vandalizzate e non | UIC 564.2 Or Annexe13 | si valuta la tenuta di una seduta completa alla combustione di un cuscino di carta da 100 grammi entro un tempo di 10 minuti |
| Densità ottica dei fumi | Afnor NF X 10.702 | si determina Dm[4], VOF4[5] per una serie di condizioni di irraggiamento in presenza o non di fiamma |
| Tossicità dei gas di combustione | Afnor NF X 70.100 | forno tubolare a 600°C e analisi in discontinuo dei gas di combustione |
| Rilascio di calore | ISO 5660-1 | Analisi del comportamento ad irraggiamento di 25-50 KW/m² |
| Metodo per la valutazione dinamica dello sviluppo di fumo opacità e tossicità | Appendice A | si determina Dm, Ds[6], VOF4 per una serie di condizioni di irraggiamento in presenza o non di fiamma. Nella stessa camera dei fumi si prelevano in condizioni dinamiche i fumi si analizzano, si determinano il tempo per CIT[7] =1 |
| Potere calorifico | UNI EN 1716 | si valuta il calore prodotto da un'unità completa di massa |
| Scomparto ferroviario | UIC 564.2 or Annexe 14 | si valuta la tenuta al fuoco di una porzione di scomparto (scala reale) ferroviario attraverso la prova in camera standard per la determinazione dei criteri stabili di comportamento al fuoco |

Per quanto attiene invece ai **cavi e componenti elettrici** sono considerati a parte dai componenti di allestimento e seguono le norme internazionali per la valutazione delle caratteristiche di reazione al fuoco e della

---

[4] Per Dm s'intende la densità ottica specifica massima.

[5] Per VOF4 s'intende il valore di oscuramento al fumo al termine dei primi 4 minuti

[6] Per Ds si intende la densità ottica specifica.

[7] Per CIT s'intende l'indice di tossicità critico.

tossicità richieste per cavi e componenti elettrici e i principali metodi di prova sono i seguenti :

**Tabella 95 :** ***I metodi di prova in ambito ferroviario per cavi e componenti elettrici***

| TITOLO | METODO DI PROVA | INDICAZIONI |
|---|---|---|
| Componenti elettrici, accendibilità per componenti di dimensione ridotta e non riconducibili alle campionature standard dei precedenti metodi | UNI EN Iso 11925-2 | Valutazione del comportamento ad attacchi di fiamma da 15 o 30 secondi |
| Componenti elettrici, densità ottica dei fumi | Afnor NF X 10.702 | si determina Dm, VOF4 per una serie di condizioni di irraggiamento in presenza o non di fiamma |
| Componenti elettrici, Tossicità dei gas di combustione | Afnor NF X 70.100 | forno tubolare a 600°C e analisi in discontinuo dei gas di combustione |
| Cavi elettrici, non propagazione a fiamma | CEI EN 50265 | Incendio su cavo singolo |
| Cavi elettrici, non propagazione incendio | CEI EN 50266<br>CEI EN 50305 | Incendio su fascio di cavi |
| Cavi elettrici, emissione gas acidi e corrosivi | CEI EN 50267<br>CEI EN 50305 | Valutazione del valore di Ph e conducibilità prodotto dall' assorbimento dei gas di combustione in acqua |
| Cavi elettrici, determinazione tossicità dei gas | CEI EN 50267<br>CEIEN 50305 | forno tubolare a 600°C e analisi in discontinuo dei gas di combustione |
| Cavi elettrici, determinazione della opacità dei fumi | CEI EN 50268 | Camera di 27 metri cubi con valutazione della perdita di trasmittanza |

Per le **sedute ferroviarie** invece occorrono sia valutazioni sui componenti che sulle sedute complete : sui componenti si applica una valutazione sia della reazione al fuoco che dei fumi e gas, mentre sulla seduta completa e' valutata la tenuta al fuoco sia in fase di vandalizzazione che non; in particolare si avranno le seguenti prove per i componenti di rivestimento e imbottitura, poggiatesta e origliera :

**Tabella 96 :** ***I metodi di prova in ambito ferroviario per i materiali di rivestimento***

| TITOLO | METODO DI PROVA | INDICAZIONI |
|---|---|---|
| Reazione al fuoco per mobili imbottiti, materassi e rivestimenti sedute | UNI 9175 | Si determinano i valori di post combustione a 3 differenti applicazioni di fiamma 20,80,140 secondi |

Mentre per le sedute complete :

**Tabella 97 :** ***I metodi di prova in ambito ferroviario per i materiali delle sedute***

| TITOLO | METODO DI PROVA | INDICAZIONI |
|---|---|---|
| Tenuta al fuoco di sedute ferroviarie vandalizzate e non | UIC 564.2 or Annexe 13 | Si valuta la tenuta di una seduta completa alla combustione di un cuscino di carta da 100 grammi entro un tempo definito di 10minuti |

Le prove di verifica delle **barriere al fuoco** devono essere condotte secondo la :

- ✓ UNI EN 1363-1, per i requisiti generali;
- ✓ UNI EN 1364-1, UNI EN 1365-1 e UNI EN 1634-1per le pareti e relative porte;
- ✓ UNI EN 1365-2 per i pavimenti;

Il campione da sottoporre a prova deve essere il manufatto completo in scala 1:1 o un campione rappresentativo di esso dotato di tutti gli accessori previsti nella sua utilizzazione finale compresi passaggio cavi,

condotte, ecc.; il campione deve essere sottoposto ai carichi di progetto che gravano su tale elemento, concordati tra committente e costruttore; i pavimenti dei veicoli devono essere sottoposti a prova con le estremità semplicemente appoggiate. Il campione rappresentativo dovrà avere larghezza pari a quella del veicolo ed una lunghezza minima rappresentativa della parte di veicolo ove sono applicati i massimi carichi verticali; le testate e le pareti dei veicoli devono essere sottoposte alla prova senza vincoli all'elongazione longitudinale e trasversale; per parete sottoposta a prova si intende la parete attrezzata (con porta, griglie, passaggio cavi, ecc.).

Le prove sono considerate superate solo nel caso in cui:

- ✓ non sia riscontrata visivamente persistenza di fiamma entro 5 min dal termine delle prove (secondo la UNI EN 1363-1);
- ✓ non siano riscontrati significativi passaggi di fumi e gas. Nel caso non possa essere garantita una efficace tenuta ai fumi, per la sua realizzazione dovrà essere data preferenza, almeno per i materiali di più largo impiego (esempio isolanti termoacustici, intumescenti, ecc.), a quelli incombustibili o comunque a bassa emissione di fumi.

I parametri che vengono valutati per la verifica delle prestazioni della barriera nei confronti di un incendio sono:

- ✓ **R** = "**Stabilità al fuoco**" ossia la capacità del campione in prova di un elemento portante di sostenere il carico applicato, quando sottoposto a un dato carico termico, senza superare specificati criteri relativi all'entità e alla velocità degli spostamenti, a seconda del caso. Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, sia conservata da parte del campione la sua capacità di mantenere il carico applicato;

- ✓ **E** = "**Tenuta o Integrità**" che esprime la capacità di un elemento da costruzione, che presenta funzioni di separazione, di sopportare un dato carico termico (espresso in termini di curva temperatura tempo) dal lato esposto senza che ci sia un significativo passaggio di fiamme o gas caldi al lato non esposto. La sua valutazione avviene utilizzando gli strumenti e le modalità presenti nella EN 1363-1, ossia tramite il passaggio dei calibri per fessure, l'accensione del batuffolo di cotone e la presenza di fiamme persistenti (per un tempo maggiore di 10 sec). Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, questi fattori non causino l'accensione di materiali posti nelle vicinanze e quindi il propagarsi dell'incendio nelle zone adiacenti.
- ✓ **I** = "**Isolamento termico**" : è la capacità di un elemento da costruzione di sopportare un dato carico termico (espresso in termini di curva temperatura tempo) senza che ci sia una significativa quantità di calore che passi dal lato esposto a quello non esposto alle fiamme; tale parametro si valuta tramite la registrazione delle temperature in corrispondenza del lato non esposto alle fiamme (l'innalzamento da esse rilevato deve essere inferiore come media a 140 °C e come massima a 180°C). Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, non si verifichi l'accensione di materiali posti nelle vicinanze e quindi il propagarsi dell'incendio nelle zone adiacenti e per proteggere dal calore le persone poste nelle vicinanze della barriera al fuoco.
- ✓ Il **calore radiante W** rappresenta la capacità di un elemento da costruzione di sopportare un dato carico termico (espresso in termini di curva temperatura tempo) senza che ci sia una significativa quantità di calore radiante trasmesso attraverso la

barriera o dalla stessa Lo scopo è quello di assicurarsi che, per un certo periodo di tempo, non si verifichi l'accensione di materiali posti nelle vicinanze e quindi il propagarsi dell'incendio nelle zone adiacenti e per proteggere dal calore le persone poste nelle vicinanze della barriera al fuoco. I parametri e le procedure per la sua determinazione sono specificati nella EN 1363-2 ed i valori di riferimento sono di 15 kW/$m^2$ in generale e di 2,5 kW/ $m^2$ per la cabina di guida. Quest'ultimo valore nasce dal fatto che la cabina è di dimensioni ridotte e inoltre che i macchinisti sono nelle immediate vicinanze della barriera e devono essere in grado di ultimare le manovre d'arresto del convoglio nei tempi previsti.

Nella classificazione le sigle sopra riportate sono seguite da un numero che esprime i minuti all'interno dei quali risultano soddisfatti i requisiti.

Si tenga presente in aggiunta a quanto detto che il **D.M. 26/06/84** e successivo **D.M. 03/09/2001**, riguardante la classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi, definisce come **mobile imbottito**, un manufatto destinato a sedersi, costituito da : rivestimento, interposto, imbottitura e struttura e secondo la norma di questi componenti qualunque può mancare ad eccezione dell'imbottitura; nella realtà può intendersi per mobile imbottito qualunque manufatto che presenta una parte anche minima di imbottitura. Il metodo CSF RF 4/83 (UNI 9175), valido per il settore pubblico, che consente la valutazione della combustione in presenza o meno di fiamma e fornisce indicazioni sulla reazione al fuoco, si effettua sottoponendo a fiamma un manufatto per un determinato tempo e rimosso il cannello si valuta il tempo di estinzione della fiamma e si individuano le seguenti classi : *1M* supera la prova a 140 secondi, *2M* non supera la prova a 140 secondi, *3M* non supera la prova a 80 secondi, *non classificabile* non supera la prova a 20 secondi.

Per quanto riguarda la protezione antincendio all'interno dei veicoli ferroviari, in Europa vengono applicate le normative nazionali con i vari test e criteri di approvazione corrispondenti. Ciò costituisce un ostacolo non solo per il libero movimento dei treni in Europa ma anche per il lavoro dei produttori dei veicoli. Si prevede che nel 2010, la nuova direttiva europea EN 45545 sarà l'unica legge applicabile in tutti i paesi, per creare condizioni eque sia per i prodotti che per il funzionamento.

## 9.2 IMPIANTO ANTINCENDIO A BORDO DI ROTABILI

L' impianto antincendio [128 e 129] deve essere costituito dai seguenti sottoimpianti :

- ✓ impianto di rilevazione incendio :
- ✓ impianto di erogazione estinguente;
- ✓ impianto di comando, segnalazione e diagnostica.

L' **impianto di rilevazione incendi** deve : segnalare in modo selettivo per ciascuna zona a rischio d'incendio, garantire la massima rapidità e affidabilità, diagnosticare permanentemente lo stato di funzionamento ed evitare la possibilità di interventi indebiti. L'impianto deve essere costituito da rilevatori di temperatura puntiformi di tipo termometrico o termovelocimetrico dotati di taratura termostatica; i rilevatori devono essere dotati di contatto elettrico di tipo normalmente chiuso in condizioni normali di esercizio, con commutazione in apertura in condizioni di intervento a seguito del raggiungimento della temperatura di taratura; inoltre il contatto deve essere reversibile, deve cioè tornare automaticamente nelle normali condizioni di funzionamento (chiuso) quando la temperatura scende al valore di taratura. In aggiunta ai rilevatori puntiformi è ammesso l'impiego di rilevatori di temperatura di

tipo lineare a fusione nel caso in cui si renda necessario un controllo della temperatura localizzato in corrispondenza diretta di apparecchiature a rischio incendio. In alternativa ai rilevatori puntiformi può essere valutato l'impiego di rilevatori di fumo di tipo ad aspirazione di aria ma non è ammesso l' impiego di quelli a ionizzazione (radioattivi).

L' **impianto di erogazione estinguente** può essere costituito da uno o più impianti indipendenti in funzione delle caratteristiche di layout adottato per le zone a rischio d'incendio. L'azione di estinzione dell' incendio deve essere realizzata mediante saturazione totale del volume protetto in cui sono comprese le zone a rischio d'incendio. Limitatamente ai casi in cui siano richieste misure di protezione su singole apparecchiature caratterizzate da elevato rischio d'incendio può essere valutata la possibilità di realizzare un'azione di estinzione mediante applicazione locale dell'estinguente direttamente sull'apparecchiatura. L'estinguente deve essere di tipo non inquinante, non tossico, non aggressivo rispetto ai componenti dell'impianto antincendio ed alle apparecchiature elettriche da proteggere, è escluso l'uso di Halon e di $CO_2$ ; va scelto tra quelli di seguito indicati compreso nell'elenco indicato dallo standard NFPA 2001, elenco che può essere soggetto a modifiche in relazione dell'evoluzione tecnologica dei prodotti e della legislazione vigente :

**Tabella 98 :** ***Tipi di estinguenti da usare a bordo dei rotabili***

| Identificativo | Nome scientifico | Formula chimica | Nome commerciale |
|---|---|---|---|
| IG-541 | Miscela di gas | $N_2$ (52%),Ar(40%),$CO_2$ (8%) | INERGEN |
| HFC-23 | trifluorometano | $CHF_3$ | PF23 o FE13 |
| FC-3-1-10 | perfluorometano | $C_4F_{10}$ | CEA-410 |
| HFC-227ea | eptafluoropropano | $CF_3$ CHF $CF_3$ | FM200 |

Si tratta di estinguenti denominati Clean Agents perché presentano un basso potenziale lesivo per l'ozono, un ridotto effetto serra ed una vita attiva in atmosfera più bassa rispetto a quella degli idrocarburi alogenati; in realtà sono degli idrocarburi saturi in cui gli atomi di idrogeno sono stati sostituiti tutti o in parte con atomi alogeni (fluoro) o di miscele di gas inerti.
La minima *concentrazione di estinguente* di progetto ammessa, calcolata per saturazione totale del volume protetto e che compensi ogni situazione presente che limiti l'efficienza di estinzione, andrà inoltre incrementata di un fattore di sicurezza pari al 20% . La *scarica* dell'estinguente nel volume deve avvenire nel tempo più veloce possibile per estinguere l'incendio (≤ 10 secondi per gli idrocarburi alogenati e ≤ 1 minuto per i gas inerti) e limitare la formazione di prodotti di combustione e di decomposizione. Il *tempo di mantenimento* della concentrazione di estinguente nel volume protetto deve essere ≥ 7 minuti in condizioni statiche del rotabile, mentre in condizioni dinamiche, alla massima velocità, deve essere garantito il raggiungimento della minima concentrazione di progetto ed il suo mantenimento per un tempo ≥ 30 secondi. Allo scopo di limitare il quantitativo di estinguente necessario per garantire i requisiti di concentrazione e di mantenimento richiesti, occorre mantenere l' *ermeticità del volume protetto* mantenendo al minimo la superficie delle aperture non chiudibili presenti nel volume protetto e devono essere previste apposite serrande a chiusura automatica per le superfici e le prese d'aria chiudibili. Le *bombole di stoccaggio estinguente* devono essere di acciaio e ciascuna deve essere dotata di : marcatura di identificazione, valvola di erogazione, cappellotto di protezione della valvola per il trasporto, certificato di collaudo ISPESL; la pressione di collaudo deve essere ≥ 250 bar per le bombole contenenti

idrocarburi alogenati e ≥ 300 bar per quelle contenenti gas inerti; la capacità delle bombole contenenti idrocarburi alogenati deve essere scelta tra i valori di : 5,7,14,27,30,40,50 litri, mentre per i gas inerti di 67 e 80 litri. Negli impianti aventi più bombole, tutte le bombole che alimentano lo stesso collettore di distribuzione devono essere intercambiabili e dello stesso volume. *La valvola di erogazione* (con grado di protezione ≥ IP54) posta sulla bombola deve essere dotata di : un dispositivo di apertura elettrico, pneumatico e meccanico, di un manometro per la verifica della pressione interna delle bombole, un pressostato di controllo della pressione interna alla bombola, un dispositivo di sicurezza per lo scarico della bombola a seguito di sovrapressione interna. Il dimensionamento *delle tubazioni* (in acciaio AIS I316) e dei *raccordi* della rete di distribuzione deve tenere conto della massima pressione raggiunta dall'estinguente all'interno della bombola alla massima temperatura ambiente prevista. L'impiego di tubazioni flessibili è ammesso solo per il collegamento tra le bombole e il collettore di distribuzione e dove vi siano passaggi attraverso strutture caratterizzate da movimento relativo; il sistema di tubazioni deve essere installato in modo da garantire un fissaggio solido in relazione alle forze di spinta dell'estinguente e alla espansione e contrazione termica delle stesse. Infine gli *ugelli* di erogazione dell'estinguente possono essere sia in acciaio inox sia in ottone e il loro posizionamento ed orientamento e la velocità del flusso devono garantire un' uniforme distribuzione di estinguente nel volume protetto.

L' **impianto di comando di erogazione dell' estinguente** deve prevedere i seguenti comandi:

- ✓ un *comando elettrico automatico* attivato dalla logica che presiede il funzionamento dell'impianto antincendio a seguito dell'intervento dell'impianto di rilevazione incendio;

- ✓ un *comando manuale meccanico* posto sulle bombole, in posizione di facile accessibilità al personale, nel caso in cui la collocazione delle bombole non renda accessibile tale comando oppure la manovra implichi l'esposizione del personale all'erogazione dell'estinguente, deve essere previsto in alternativa un comando manuale pneumatico posto in ciascuna cabina di guida o in prossimità della zona protetta. Il comando meccanico prevede l'installazione di una maniglia sulla valvola di erogazione estinguente le cui caratteristiche ergonomiche ne consentono una facile impugnatura e manovra; l'attivazione deve avvenire mediante trazione della maniglia con direzione di azionamento longitudinale alla posizione dell'operatore e una sola maniglia deve consentire l'attivazione dell'intera batteria costituita da una o più bombole di estinguente.
- ✓ un *comando manuale pneumatico* esterno al rotabile, su ciascuna fiancata, in posizione di facile individuazione, accessibile in linea, protetto dietro uno sportello su cui deve essere riportato apposito pittogramma. Il comando prevede l'installazione di pulsanti a fungo pneumatici di tipo stabile e di colore rosso e di un impianto a riserva di propellente costituito da bombole monouso di piccola capacità caricate con azoto e dotate di pulsante a fungo di azionamento, oppure da una bombola centralizzata di piccola capacità caricata con aria la cui riserva sia indipendente dall'impianto pneumatico di locomotiva; in quest' ultimo caso l'impianto pneumatico di locomotiva può essere utilizzato come sorgente di ricarica della bombola. Le bombole di stoccaggio del propellente devono essere dotate di manometri per la verifica della corretta carica.

I comandi meccanici e pneumatici interni ed esterni devono essere azionabili senza l'utilizzo di alcun genere di attrezzo e devono essere muniti di accorgimenti contro l'azionamento involontario (ad ex spine di blocco). Per quanto infine attiene alle **segnalazioni incendio** in relazione alle caratteristiche del rotabile e del treno in cui è inserito devono essere previste tutte o parte delle seguenti :

- ✓ *segnalazione ottica e acustica di allarme incendio posta sul banco di manovra (segnalazione globale)* : l'ottica costituita da una lampada spia di colore rosso che garantisca una grande visibilità, l'acustica che garantisca una emissione ≥ 80 decibel;
- ✓ *segnalazione ottica e acustica con funzione di allarme incendio e di avviso pre-erogazione estinguente posta nel corridoio di servizio del comparto macchine protetto (segnalazione locale)* : l'ottica deve essere di colore rosso e deve essere posizionata in modo da consentire una immediata individuazione da parte del personale di servizio, l'acustica deve garantire un' emissione ≥ 85 decibel;
- ✓ *segnalazione ottica di allarme incendio posta all'esterno del rotabile su ciascuna fiancata (segnalazione locale)* : di colore rosso e posizionata in modo da consentire una facile individuazione del personale di servizio;
- ✓ *segnalazione ottica di allarme incendio posta sul quadro di controllo locale dell'impianto antincendio del rotabile (segnalazione locale)* : di colore rosso e posizionata in modo da consentire una facile individuazione del personale di servizio.

Infine altre **segnalazioni** sono da considerarsi solo di tipo **ausiliarie** :

- ✓ segnalazione ottica di avvenuta erogazione estinguente posta all'esterno del volume protetto;

- ✓ segnalazione ottica si impianto antincendio escluso posta sul quadro di controllo locale dell'impianto antincendio del rotabile.

### 9.2.1 Caratteristiche funzionali

Le caratteristiche funzionali dell'impianto antincendio devono garantire i seguenti requisiti :

- ✓ segnalare al P.d.M. e al personale di servizio l'avvenuta rivelazione di un incendio;
- ✓ attivare il comando di erogazione estinguente a seguito della rivelazione di un incendio;
- ✓ mantenere per quanto possibile, compatibilmente con la modularità dell'azionamento di trazione, le residue possibilità di marcia del treno a seguito dell'intervento dell'impianto antincendio.

Gli impianti antincendio installati a bordo di rotabili di nuova costruzione devono funzionare in modo completamente automatico attivando in maniera automatica il comando di erogazione estinguente a seguito della rivelazione di un incendio, le diverse segnalazioni acustiche ed ottiche di allarme incendio, l'arresto dei sistemi di ventilazione, l'erogazione dell'estinguente e a seguito dell'erogazione, la tacitazione delle segnalazioni acustiche e disattivazione di quelle ottiche di allarme con reset della diagnostica. Per gli impianti antincendio già progettati e costruiti è ammesso il funzionamento in modo semiautomatico; tale modalità prevede l'attivazione del comando di erogazione da parte del P.d.M. a seguito della rilevazione di un incendio, tramite apposito pulsante sul banco di manovra. Un sistema di diagnostica con test automatici consente per ciascun rotabile in composizione al treno il controllo automatico e continuativo dell'efficienza funzionale e dello

stato dei dispositivi dell'impianto antincendio, dall'istante di inserzione della logica che presiede il funzionamento dell'impianto: in caso di efficienza non viene indicata nessuna informazione sul banco master mentre in caso contrario deve essere attivata la relativa segnalazione.
A seguito della rivelazione di un incendio deve essere garantita per quanto possibile la trazione del treno in modo che il P.d.M. possa, in situazioni di pericolo, mantenere per quanto possibile il treno in marcia; devono essere interrotti e/o intercettati mediante serrande automatiche tutti i sistemi di ventilazione che interessano i volumi protetti mentre i sistemi segregati possono restare in funzione; deve essere interrotto il funzionamento degli impianti di climatizzazione in caso di pericolo della ricircolazione dei fumi. Ogni 6 mesi è necessario effettuare una verifica periodica delle bombole sullo stato di carica mediante pesatura con cella di carico senza rimuoverle, della corretta pressurizzazione e in caso di perdita di peso ≥ 5% e una perdita di pressione ≥ 10% per gli idrocarburi alogenati e ≥ 5% per i gas inerti, andranno sostituite. Il fornitore dell'impianto antincendio deve effettuare diversi tipi di prove per verificare le caratteristiche prestazionali dell'impianto : prova di scarica estinguente, prove di accettazione, controlli visivi, prova di portata, di pressurizzazione e funzionale: il controllo generale della funzionalità del sistema deve avvenire ogni 6 mesi mentre la revisione generale ogni 5 anni.

## 9.3 ETR 600

L'**ETR 600** è un elettrotreno (ossia un treno elettrico automotore, di regola non scomponibile, con carrozze motrici e rimorchiate, senza locomotore fatto di convogli "a potenza distribuita", in contrapposizione ai convogli "a potenza concentrata", dove solo un rotabile, il locomotore,

è motorizzato, mentre gli altri componenti sono rimorchiati), ad assetto variabile del parco rotabili ad alta velocità di Trenitalia e della compagnia italo-svizzera Cisalpino, in quest'ultima con il nome di ETR 610 e costruito dalla società francese Alstom, la quale nel 2000 ha acquisito la Fiat Ferroviaria.

Il treno è stato sviluppato a partire dal 2005 come *IV generazione* ed evoluzione della filosofia progettuale a sistema attivo di inclinazione della cassa, (detto in gergo pendolamento o tilting in inglese), dei treni ETR 450/460-470/480. È stato acquistato in 28 esemplari dalle società Trenitalia (ETR600) e Cisalpino (ETR610) e l'entrata in servizio è stata alla fine dell' anno 2007.

**Figura 132 :** ***ETR 600 Frecciargento***

### 9.3.1 Caratteristiche generali

L'ETR 600 è costituito da 7 carrozze, di cui una (la numero 3) è solo per metà adibita al trasporto viaggiatori mentre l'altra parte è arredata a bar/self service. In questa carrozza si trova anche il compartimento del Capotreno. L'alimentazione è politensione/policorrente: (3kV a corrente continua/25kV a corrente alternata 50 Hz) in modo da permetterne la

circolazione sia sulle nuove tratte ad alta velocità che sulla rete classica. L'ETR 600 è attrezzato di sistema ERTMS (è un avanzato sistema di gestione, controllo e protezione del traffico ferroviario e relativo segnalamento a bordo, progettato allo scopo di sostituire i molteplici e, tra loro incompatibili, sistemi di circolazione e sicurezza delle varie Ferrovie Europee allo scopo di garantire l'interoperabilità dei treni soprattutto sulle nuove reti ferroviarie europee ad Alta velocità) ed è quindi interoperabile e in grado di essere guidato da un solo macchinista in tutta sicurezza. La cabina di guida dispone infatti di una sola poltrona di guida fissa, alla quale si affianca uno strapuntino allo scopo di ospitare in cabina anche un agente sussidiario ove prescritto dai regolamenti di esercizio vigenti (ad oggi le norme di esercizio italiane prescrivono la presenza a bordo di due macchinisti di condotta).
L'ETR 600 è in grado di raggiungere la velocità massima di 250 km/h non essendo previste per i treni con cassa pendolante velocità superiori. Il convoglio è munito di gancio automatico fisso (organo meccanico che serve a realizzare l'aggancio di un rimorchio ad un'unità di trazione) : il musetto è retrattile a comando scoprendo il gancio automatico e permette l'accoppiamento in multiplo di due convogli senza l'intervento di un manovratore a terra. In questo modo si potrà realizzare un treno, che giunto in una determinata stazione potrà dividersi in due convogli che potranno proseguire indipendentemente la loro corsa verso due diverse destinazioni.

### 9.3.2 Impianto antincendio rilevamento fumi su un ETR 600

#### *9.3.2.1 Generalità*

Il complesso è dotato di sicurezze passive e attive [130 e 131] destinate alla protezione da eventuali incendi. Per le sicurezze passive tutti i materiali non metallici utilizzati sia come rivestimento nell’arredamento

della cassa, sia nella costituzione, sono della categoria dei prodotti non combustibili e comunque difficilmente infiammabili ed autoestinguenti. Per quelle attive ogni veicolo del complesso è dotato di un impianto di rivelazione e spegnimento incendio automatico montato all'interno dei cassoni contenenti apparecchiature AT come descritto successivamente. Nei comparti passeggeri, nelle cabine di guida e nei pressi del locale bar, sono ubicati estintori portatili del tipo omologato secondo il D.M. 12/82 ES. n° 305695, mentre nei comparti passeggeri sono posti dei martelletti frangivetro. Le porte di salita sono dotate sia internamente che esternamente di maniglie per l'apertura delle stesse in emergenza. Nei comparti passeggeri sono poste delle maniglie per la richiesta dell'arresto del convoglio in caso di emergenza. Ogni veicolo del complesso è dotato di un impianto di rilevamento dei fumi montato all'interno dei singoli veicoli.

#### *9.3.2.2 Funzionamento impianto antincendio*

L'impianto antincendio si caratterizza per l'utilizzo di un tubo denominato rilevatore lineare a fusione (tubo termofusibile tipo FT92) quale sistema di rilevazione : esso contiene azoto in pressione (15÷18 bar) e viene posizionato a ridosso degli equipaggiamenti elettrici da proteggere. La sua rottura provoca l'erogazione dell'azoto in esso contenuto ed inoltre una variazione di pressione che genera l'erogazione dell'estinguente (gas inerte IG01, alla pressione di circa 200 bar a temperatura ambiente) contenuto in apposite bombole sistemate nei pressi dell'apparecchiatura da proteggere. Si noti che la carica delle bombole può essere controllata mediante verifica della pressione sul manometro dedicato indipendentemente dalla temperatura. L'impianto è di tipo meccanico-pneumatico e completamente autonomo per quel che riguarda sia l'impianto rilevatore sia quello erogatore. I componenti elettrici sono

impiegati per la sola trasmissione di comandi (da fiancata) e di segnali da un veicolo all'altro o da un complesso all'altro, ciò permette di avere ciascun impianto antincendio automatico funzionante anche nel caso di guasto all'impianto elettrico o di treno fermo. Lo spegnimento dell'incendio avviene utilizzando un sistema indiretto per il quale (fig. 133), in presenza di fiamma, si ha la perforazione del tubo che provoca prima il rilascio dell'estinguente azoto in esso contenuto, poi, attraverso la dedicata linea di erogazione con ugelli diffusori direzionati, provoca la fuoriuscita dell'estinguente dalle bombole.

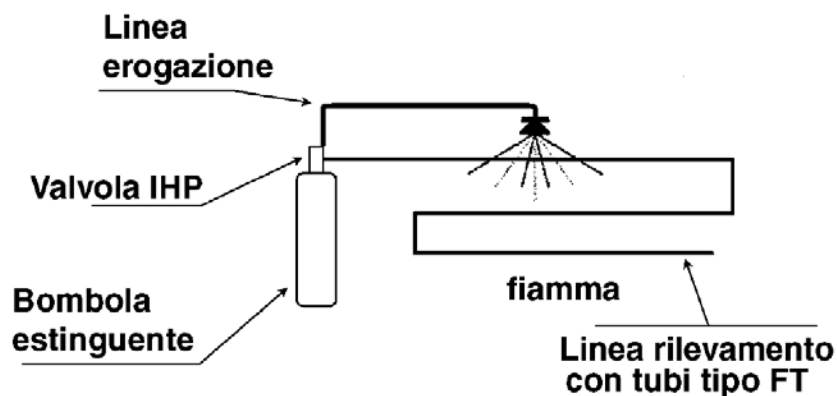



**Figura 133 :** ***Schema semplificato estinzione incendio in modo indiretto***

### *9.3.2.3 impianti da proteggere*

Gli impianti che sono protetti con l'impianto antincendio sono i seguenti:

- ✓ nel veicolo 1-2-6-7: Inverter di trazione, convertitore servizi ausiliari (nel sottocassa fig. 134);
- ✓ nel veicolo 3: Cassa contattori MT (nel sottocassa fig. 134);
- ✓ nel veicolo 4: Cassa combinatore AT, cassa precarica e cassa contattori MT (nel sottocassa fig. 134), interruttore extrarapido (sull'imperiale fig. 135);
- ✓ nel veicolo 5: Cassa combinatore AT, cassa precarica e cassa contattori MT (nel sottocassa fig. 134), interruttore extrarapido (sull'imperiale fig. 135).

Nella fig. 136 viene riportato il disegno che illustra lo schema interno delle due linee dell'impianto antincendio all'interno del cassone inverter di trazione convertitore servizi ausiliari.

Nella fig. 137 viene riportato il disegno che illustra lo schema interno delle due linee dell'impianto antincendio all'interno della cassa combinatore AT e precarica.

Nella fig. 138 viene riportato il disegno che illustra lo schema interno delle due linee dell'impianto antincendio all'interno della cassa contattori MT.

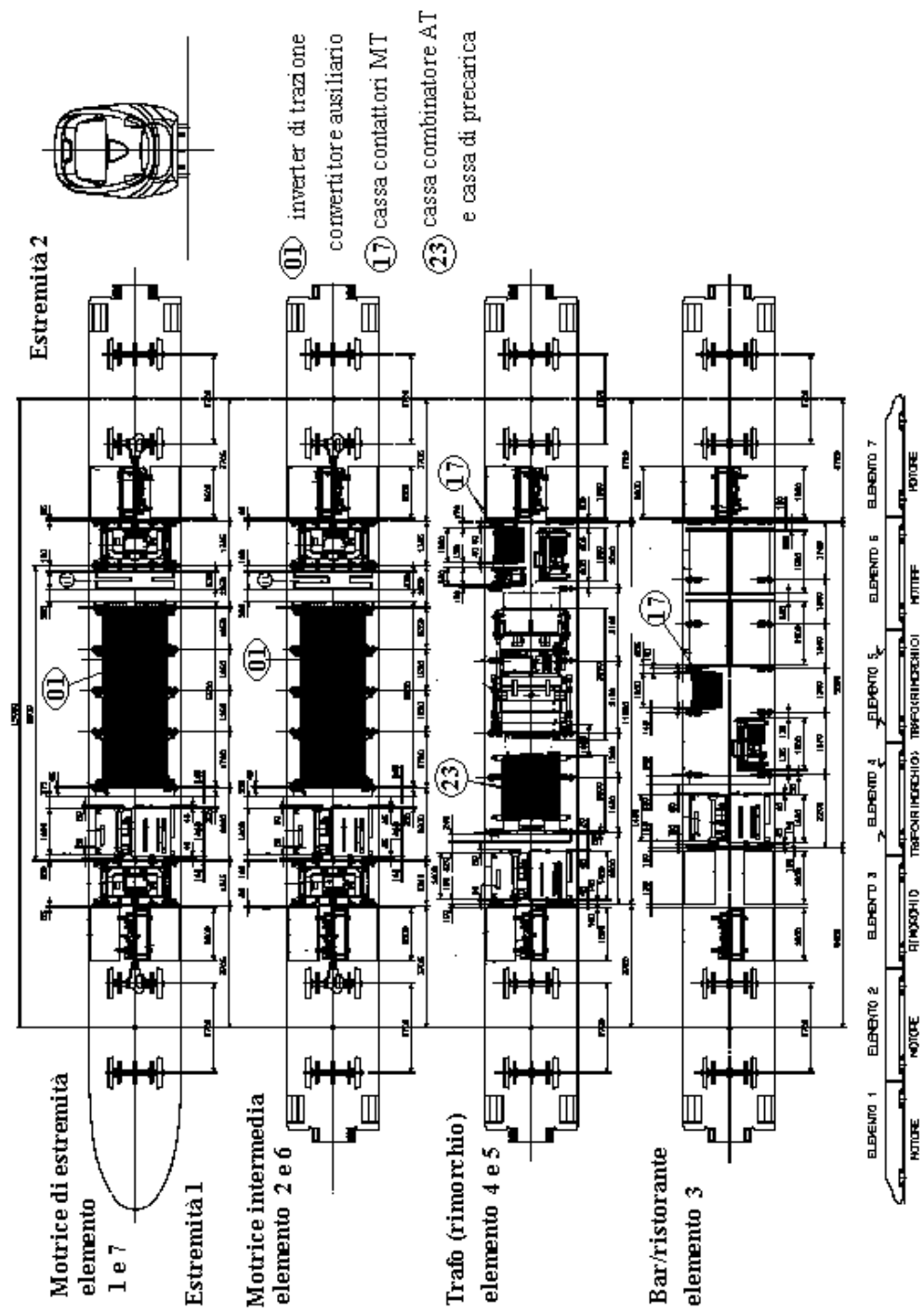



**Figura 134 :** ***Impianti protetti nel sottocassa dei veicoli***

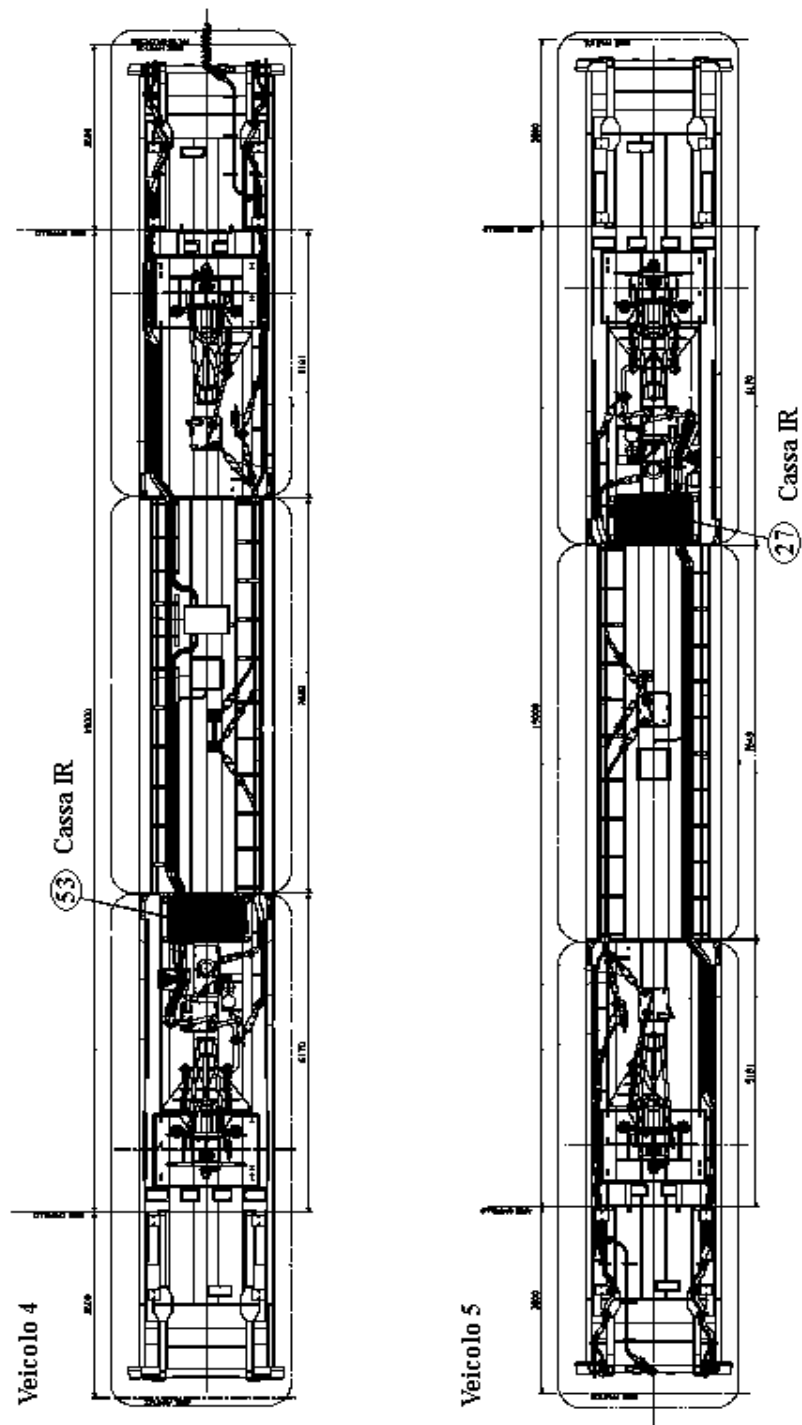



**Figura 135 :** ***Impianti protetti sull' imperiale***

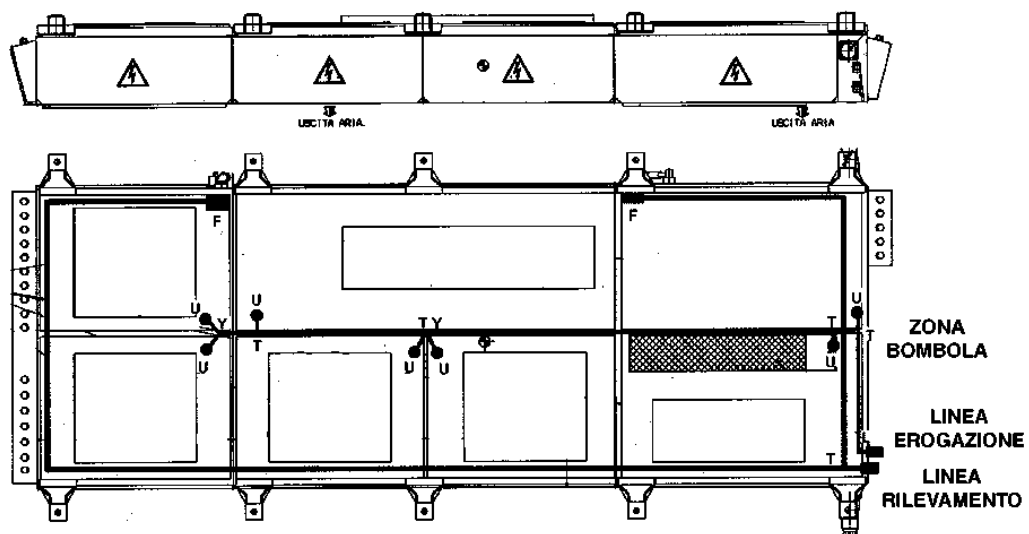



**Figura 136 :** ***Disposizione linee antincendio nel cassone inverter di trazione***

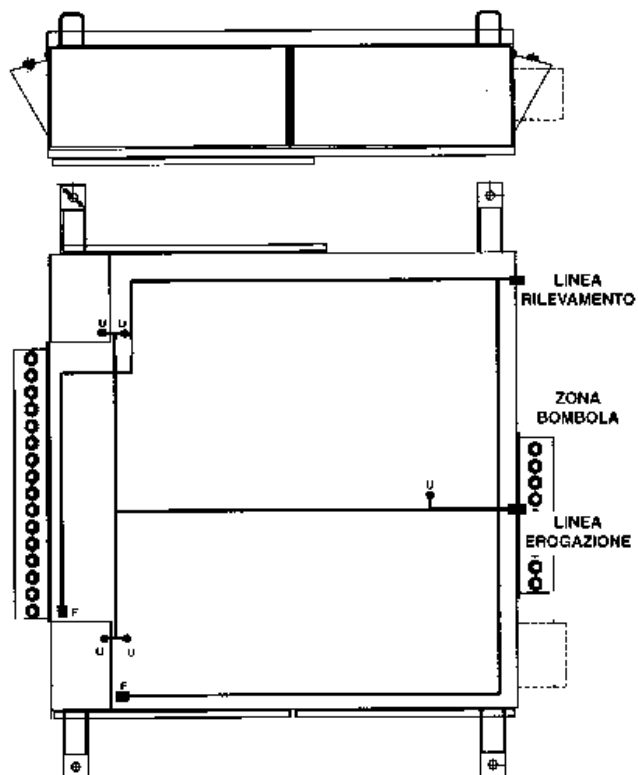



**Figura 137 :** ***Disposizione linee antincendio nella cassa combinatore AT e precarica***

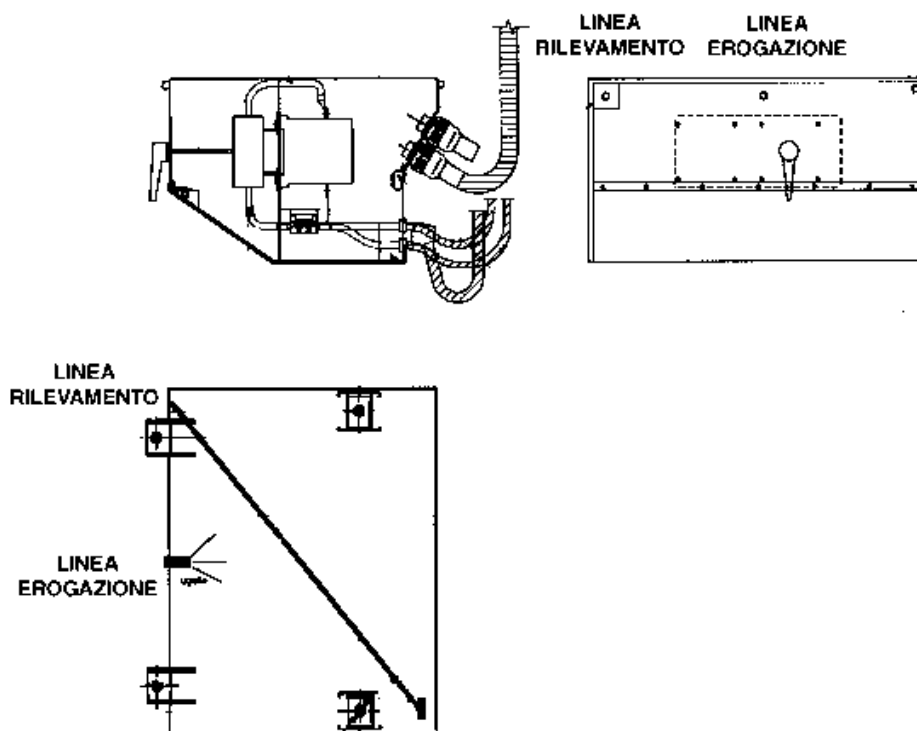



**Figura 138 :** ***Disposizione linee antincendio nella cassa contattori MT***

### *9.3.2.4 Descrizione funzionale*

L'impianto antincendio montato sul complesso (il cui schema relativamente agli elementi 1,2,6,7 è riportato in fig. 139) ha la seguente possibilità di intervento :

- ✓ comando automatico pneumatico (servoassistito pneumaticamente);
- ✓ comando elettrico di fiancata (servoassistito elettricamente).

Si noti che tutti i rubinetti presenti nell'impianto antincendio devono sempre essere sempre aperti e piombati e nel caso sia necessario la loro chiusura per operazioni di manutenzione, al termine si deve provvedere alla loro riapertura e al ripristino della piombatura.

*9.3.2.4.a Comando automatico pneumatico*

Un tubo rilevatore lineare a fusione viene posizionato sull'impianto da proteggere nei punti a più alto rischio di incendio ed è scelto in base ad una determinata temperatura di fusione alla quale l'impianto di rilevazione antincendio si deve attivare. Quando avviene l'incendio, la fiamma brucia il tubo provocando la fuoriuscita dell'azoto in pressione. La fuoriuscita dell'azoto in pressione provoca una diminuzione di pressione che genera le seguenti azioni:

**a)** Azionamento di un pressostato P1 (soglia di intervento 5 ± 2 bar) che rilevando tale diminuzione di pressione provoca:

- ✓ la segnalazione di incendio in atto al macchinista tramite indicazione luminosa e sonora sistemate sul banco di manovra (tramite monitor diagnostica è possibile individuare il veicolo interessato) e più in generale in tutte le cabine della composizione. Le segnalazioni acustica e luminosa permangono fino al momento in cui il personale di bordo (P.d.B.) aziona il pulsante luminoso giallo relativo all'impianto interessato sistemato sul subrack display e comandi del veicolo interessato; in ogni caso il buzzer della segnalazione acustica è temporizzato a 20 secondi;
- ✓ la segnalazione di incendio in atto al capo treno tramite indicazione luminosa e sonora sistemate sul subrack display e comandi del veicolo 3 e più in generale in tutti i subrack display e comandi della composizione. Le segnalazioni acustica e luminosa permangono fino al momento in cui il P.d.B. aziona il pulsante luminoso giallo relativo all'impianto interessato sistemato sul subrack display e comandi del veicolo interessato; in ogni caso il buzzer della segnalazione acustica è temporizzato a 20 secondi;
- ✓ l'accensione di una spia colore rosso "segnalazione incendio a bordo" posta su apposito pannello segnalazioni (PS) installato

all'esterno di ciascuna fiancata del veicolo ove si è rilevato l'incendio; tale segnalazione luminosa permane fino a quando non verrà ripristinato il circuito pneumatico della linea di rilevazione e quindi con il riempimento dell'estinguente della bombola; tramite la diagnostica di bordo si identifica quale pressostato P1 è intervenuto e quindi presso quale impianto si è verificato l'incendio. Il led presente su tale pannello viene testato tramite il pulsante di test lampade locale posto immediatamente sotto;

- ✓ invio di un segnale al sistema diagnostico di treno tramite un pressostato P3 con soglia di intervento da 10 ± 1 bar, che informa sulla perdita di pressione della linea di rilevazione incendio; tramite la diagnostica di treno viene identificato quale pressostato P3 è intervenuto e quindi quale impianto di rilevazione incendio presenta delle perdite;
- ✓ esclusione dell'alimentazione elettrica dei ventilatori dell'impianto coinvolto.

**b)** Un segnale pneumatico di variazione di pressione arriva alla valvola IHP (7, di fig. 139) posizionata sulla bombola di estinguente provocando l'azionamento dell'impianto di erogazione. Quando termina l'erogazione di estinguente, il pressostato P2 (soglia di intervento 6 ± 1 bar) posizionato in corrispondenza della bombola di estinzione (sulla linea di erogazione), invia un segnale elettrico al comando e controllo del complesso per la notifica di avvenuta erogazione. L'elevata velocità di intervento dal momento della rilevazione dell'incendio all'erogazione d'estinguente (circa 3 secondi), il peso specifico dell'estinguente scelto e l'elevata pressione di erogazione garantiscono una reale efficacia di spegnimento dell'incendio in un tempo ridotto (circa 10 secondi) anche in presenza di flussi d'aria. L'erogazione di estinguente durerà per un tempo variabile da 10 secondi, in assenza di flussi d'aria, a 60 secondi in

presenza di flusso d’aria (considerando un tempo di arresto dei ventilatori di circa 20 secondi).

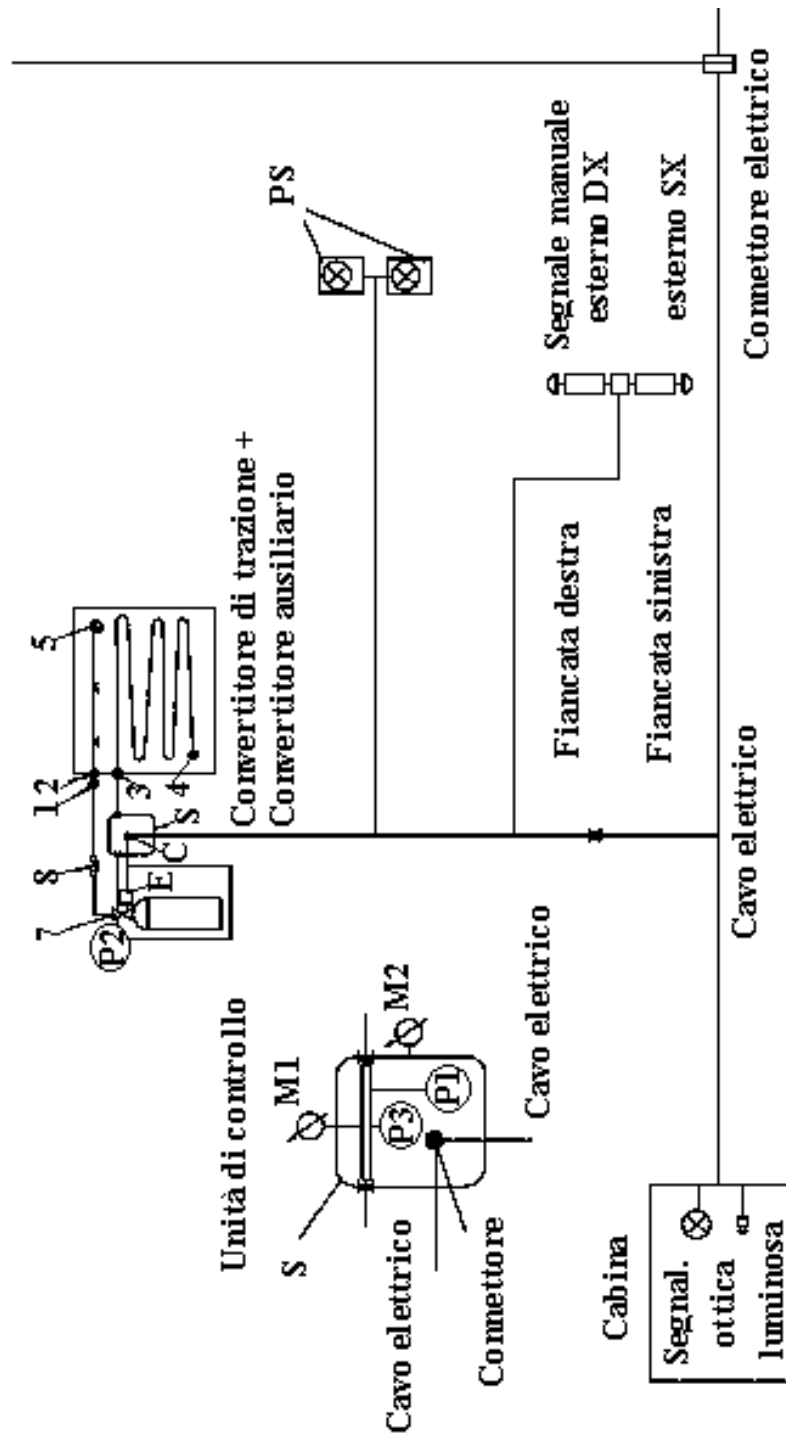



**Figura 139 :** ***Schema impianto antincendio per gli elementi 1,2,6,7***

Tale periodo di tempo è ottenuto proporzionando il numero ed il diametro dei fori degli ugelli. Questi ultimi sono posizionati ove il rischio incendio è maggiore. Questo permetterà, per quanto possibile, un certo grado di saturazione dell'ambiente protetto, visto la non tenuta stagna delle applicazioni protette.

#### *9.3.2.4.b Comando elettrico di fiancata*

Il comando elettrico di fiancata è realizzato posizionando su entrambe le fiancate di ogni veicolo dei pulsanti a fungo a riarmo manuale, protetti da uno sportello per prevenire l'azionamento indesiderato. Ciascuno di questi pulsanti opera esclusivamente sugli impianti di rilevazione incendio automatici presenti sul veicolo ove sono ubicati. Agendo sul pulsante si provoca la depressione del tubo rilevatore lineare a fusione con la conseguente fuoriuscita di azoto e quindi diminuzione di pressione. Questa azione viene realizzata tramite un solenoide (E fig. 139) attivato dal comando elettrico generato dal pulsante di fiancata. Da questo punto in poi il funzionamento è lo stesso illustrato nel paragrafo precedente. Nella figura successiva (fig.140) viene mostrata la sistemazione del pulsante per il comando elettrico di fiancata e del pannello segnalazioni, la cui attivazione consente l'intervento di tutti gli apparati antincendio presenti nel veicolo.

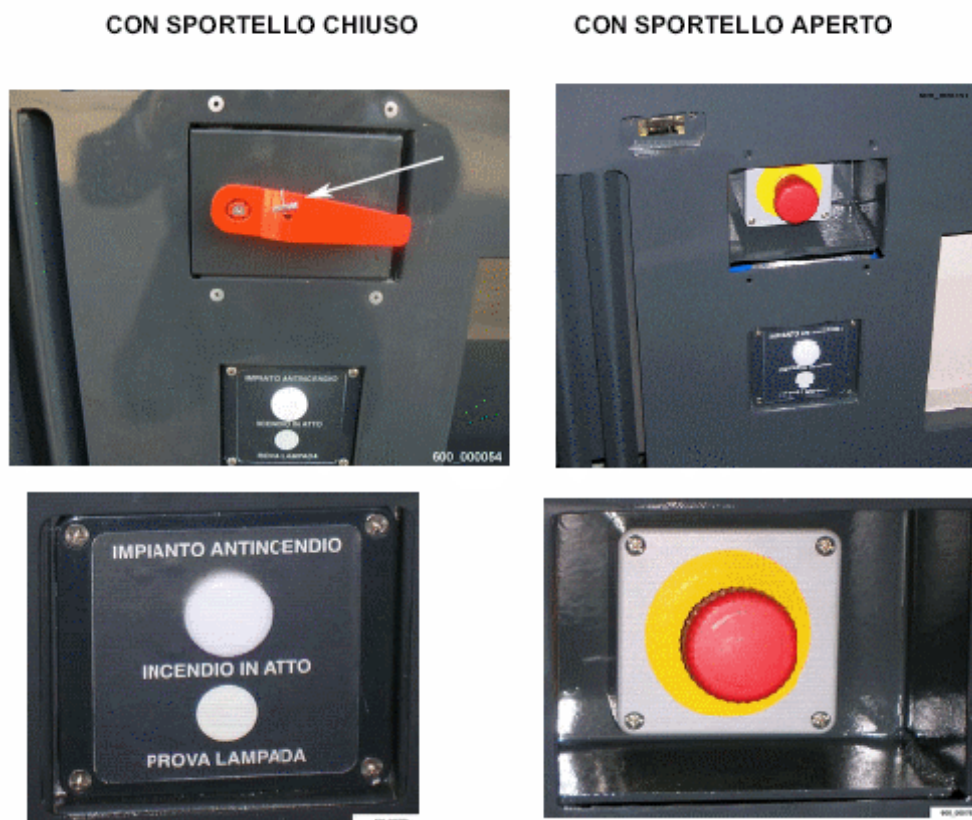



**Figura 140** ***: Sistemazione del pulsante per il comando elettrico di fiancata e del pannello segnalazioni.***

### *9.3.2.5 Segnalazioni impianto antincendio*

Le segnalazioni luminose e/o acustiche del funzionamento dell'impianto antincendio sono localizzate:

- ✓ sui banchi di manovra del complesso (led luminoso e buzzer); queste segnalazioni vengono testate tramite un pulsante di test lampade sul banco di manovra in cabina.
- ✓ su entrambe le fiancate di ogni singolo veicolo (pannello di segnalazione) interessati dall'incendio;
- ✓ nei sub rack display e comandi all'interno dei veicoli.

*9.3.2.5.a Sub rack display e comandi*

Sul quadro rack, dei veicoli 1-7, 2-6, 4 e 5, sono presenti le seguenti segnalazioni:

- ✓ 1 pulsante (giallo) instabile ad autoritenuta elettrica di reset allarme antincendio per ogni impianto presente sul rotabile;
- ✓ 1 segnalazione ottica (rossa) “incendio in atto” per ogni impianto presente sul rotabile;
- ✓ 1 segnalazione ottica (rossa) “avvenuta erogazione” per ogni impianto presente sul rotabile;
- ✓ 1 segnalazione ottica (rossa) “impianto isolato” per ogni impianto presente sul rotabile;
- ✓ 1 segnalazione ottica (rossa) “perdita impianto ”per ogni impianto presente sul rotabile;
- ✓ 1 segnalazione ottica (verde) “solenoide di comando efficiente ”per ogni impianto presente sul rotabile;

Sul quadro rack, del veicolo 3, sono presenti oltre alle precedenti anche le seguenti segnalazioni :

- ✓ 1 segnalazione ottica (rossa) di segnalazione “incendio a bordo treno”.
- ✓ 1 segnalazione acustica (buzzer) di segnalazione “ incendio a bordo treno.

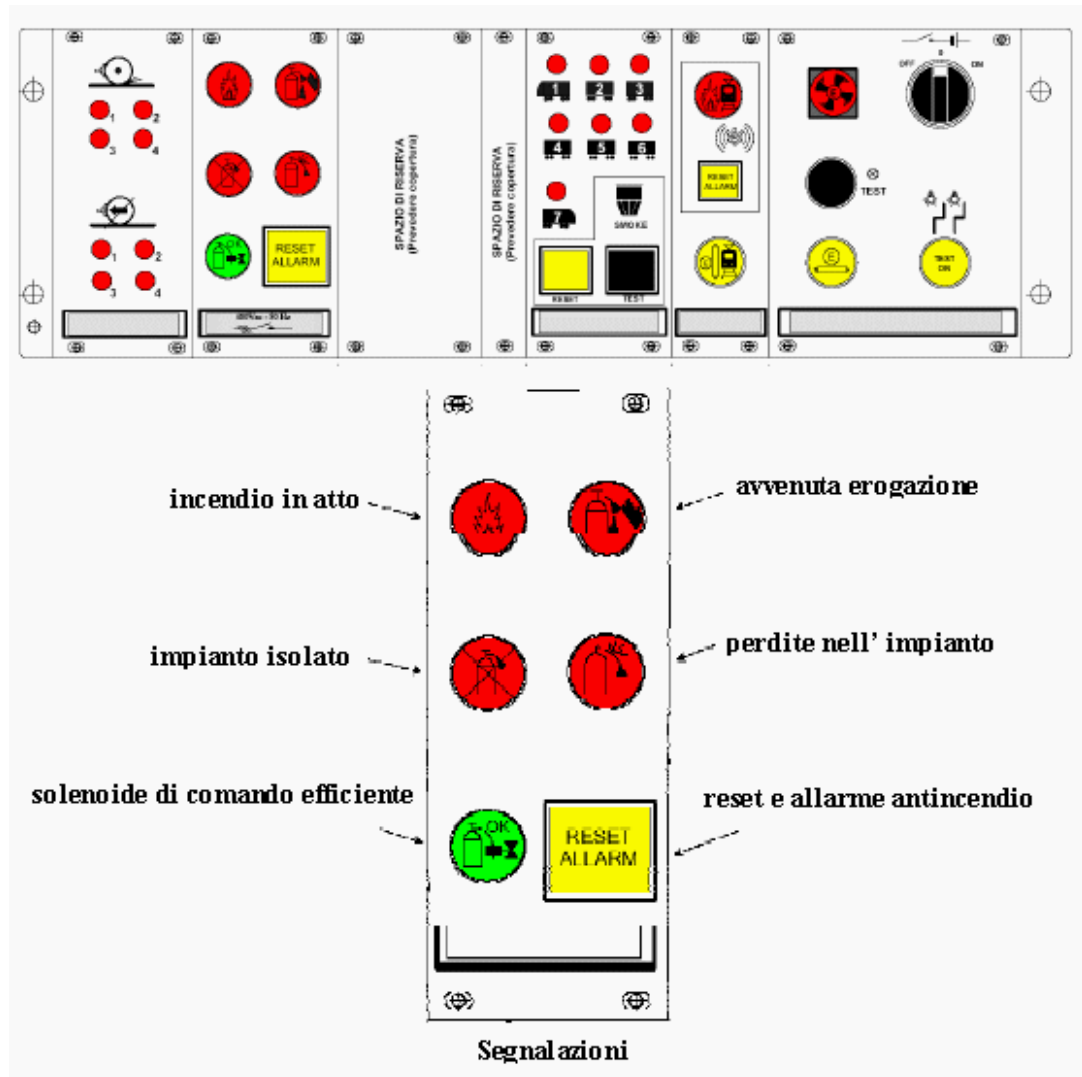



**Figura 141 :** ***Segnalazioni sul rack display comandi veicolo 3***

### *9.3.2.6 Impianto rilevamento fumi*

Il funzionamento si basa sull'impiego di rilevatori di temperatura e fumo ed unità di supervisione : i rilevatori di fumo (RFETR600) di ogni veicolo sono collegati via seriale ad una unità di supervisione (SMK-2), ai fini diagnostici e di manutenzione. In tutti i veicoli l'unità di supervisione risulta vicina ai rilevatori, resta lontano solo il rilevatore posto nella presa d'aria dell'impianto di ventilazione all'estremità opposta. Nel dettaglio sono presenti su ogni veicolo i rilevatori di fumo e calore relativi al cubicolo quadri elettrici e canale ripresa aria per i saloni

1 e 2 (immediatamente dietro le griglie); inoltre solo sulle motrici di estremità (veicoli 1 e 7) è presente un rilevatore per la cabina di guida e solo sul rimorchio bar (veicolo 3) è presente un rilevatore nella zona cucina. Su tutti i veicoli nei pressi della zona intercomunicante è presente un rilevatore di sola temperatura. Le unità di supervisione, una per veicolo, sono inserite nell'armadio dell'elettronica, e sono collegate tra di loro da una linea seriale RS485 dedicata, rendendo disponibile da ognuna di esse la situazione dell'intero treno. L'unità posta nel veicolo 3 è fisicamente diversa dalle altre e svolge la funzione di master (SMK-2M), prevede anche il collegamento ad un pannello locale di visualizzazione riepilogativo dell'intero treno, con pulsante di test per la prova delle lampade di direzione e dei LED del pannello riepilogativo, e pulsante di reset. I rilevatori operano individualmente e sono alimentati direttamente dalla batteria. Essi sono specificatamente sensibili ai fumi, ma prevedono anche la misura della temperatura, per compensare la sensibilità del rilevatore fotoelettrico ai diversi tipi di fumo, ma anche per dare, estrema ratio, un allarme per sola temperatura, regolata per soglia statica a 70°C +/- 2°C e soglia dinamica per gradiente di 10°C/minuto a partire da 50°C, con riduzione lineare del gradiente fino a zero a 70°C. I rilevatori nel salone passeggeri sono posti nei canali di ripresa aria, immediatamente dietro le griglie alle due estremità del vagone, in posizione simmetrica. I rilevatori posti nei cubicoli degli armadi elettrici sono dello stesso tipo, ed anch'essi a doppia tecnologia, per rilevare eventuali fumi provocati da guasti nelle apparecchiature elettriche prima che si sprigioni calore; essi sono fissati a vista al soffitto, come quelli nelle cabine di guida. Invece per il rilevatore posto nella zona intercomunicante è opportuno disabilitare la funzione fotoelettrica (fumi), e resta attiva la sola funzione di sensibilità statica al calore.

### *9.3.2.6.a Lampade di direzione*

Ad ogni unità SMK-2 sono collegate una coppia di lampade di direzione, poste sopra le porte di vestibolo, che in caso di allarme indicano, lampeggiando, la direzione da seguire per giungere al veicolo dove ha origine l'allarme, ove la lampada più vicina al sensore che ha provocato l'allarme resta accesa fissa, mentre l'altra è spenta. Le lampade sono di colore blu. Nel veicolo bar (veicolo 3), essendo suddiviso in locale passeggeri e locale bar, il numero di lampade è raddoppiato in modo da fornire le indicazioni in entrambi i saloni.

### *9.3.2.6.b Rilevatore di fumo autonomo RFETR600*

Il rilevatore di fumo RFETR600 è un apparato autonomo basato su una tecnologia mista, ottica a diffrazione e temperatura, con elaborazione dei segnali tramite microcontrollore. Esso è alimentato direttamente dalla batteria del veicolo, e fornisce in uscita un segnale di allarme su due contatti di scambio di relè indipendenti, utilizzabili sia per una azione locale diretta (es. arresto della ventilazione), sia per entrare in un punto di raccolta allarmi. E' comunque presente una linea seriale RS485, su un connettore dedicato, a scopo di calibrazione e di test del rilevatore; collegando una unità di supervisione SMK-2 è possibile controllare a distanza lo stato del rilevatore, e se necessario modificarne i parametri di funzionamento, senza intervenire comunque sulla sua funzionalità, che resta indipendente dalla presenza o meno della linea seriale. E' alloggiato in un contenitore in acciaio inox previsto per il fissaggio a soffitto o parete.

### *9.3.2.6.c Unità di supervisione SMK-2M*

L'unità di supervisione si collega alla porta seriale dei rilevatori RFETR600, secondo una struttura punto-punto. I rilevatori continuano a funzionare in maniera autonoma, con alimentazione ed uscite di allarme

locali; il collegamento seriale è solo a scopo di supervisione, e consente di riportare sul frontalino dell'unità lo stato di ogni rilevatore, segnalato da tre LED: allarme, avaria o funzionamento regolare, in modo da avere una indicazione semplice ed immediata. Se si rileva un degrado di caratteristiche, per invecchiamento o accumulo di polvere, il LED di avaria è lampeggiante. L'interruzione dei collegamenti seriali (segnalata come avaria) non compromette la funzionalità dei rilevatori. L'aggiornamento delle indicazioni di stato è in tempo reale. Un interruttore a zero centrale con azionamento momentaneo se portato in posizione Test forza l'accensione per un secondo tutti i LED (funzione prova lampade). Invece se portato in posizione Reset svolge la funzione di acquisizione/tacitazione allarme, che però viene nuovamente attivato in caso di nuovo allarme proveniente da un diverso sensore. Un collegamento parallelo consente il pilotaggio di un pannello esterno di visualizzazione riepilogativo dell'intero treno, con sette LED, uno per veicolo, e pulsanti di test e di reset. Il comando di reset posto sul pannello esterno svolge la stessa funzione di quello interno, mentre quello di test svolge una funzione più completa, provocando sia l'accensione della lampade indicatrici di direzione (fino a reset o timeout di 10 minuti, programmabile), sia l'effettiva sequenza di autodiagnosi dei rilevatori. Collegando un PC portatile alla porta RS232 (X03) è possibile avere una situazione dettagliata dello stato di ogni rilevatore, a scopo di manutenzione, ed anche modificare i parametri individuali di funzionamento (funzione protetta da password), e questo sia per i rilevatori direttamente collegati che per quelli raggiungibili tramite le unità SMK-2S.

### *9.3.2.6.d Unità di supervisione SMK-2S*

L'unità di supervisione SMK-2 è del tutto simile all'unità SMK-2M, ma non prevede il collegamento al pannello esterno di visualizzazione riepilogativa.

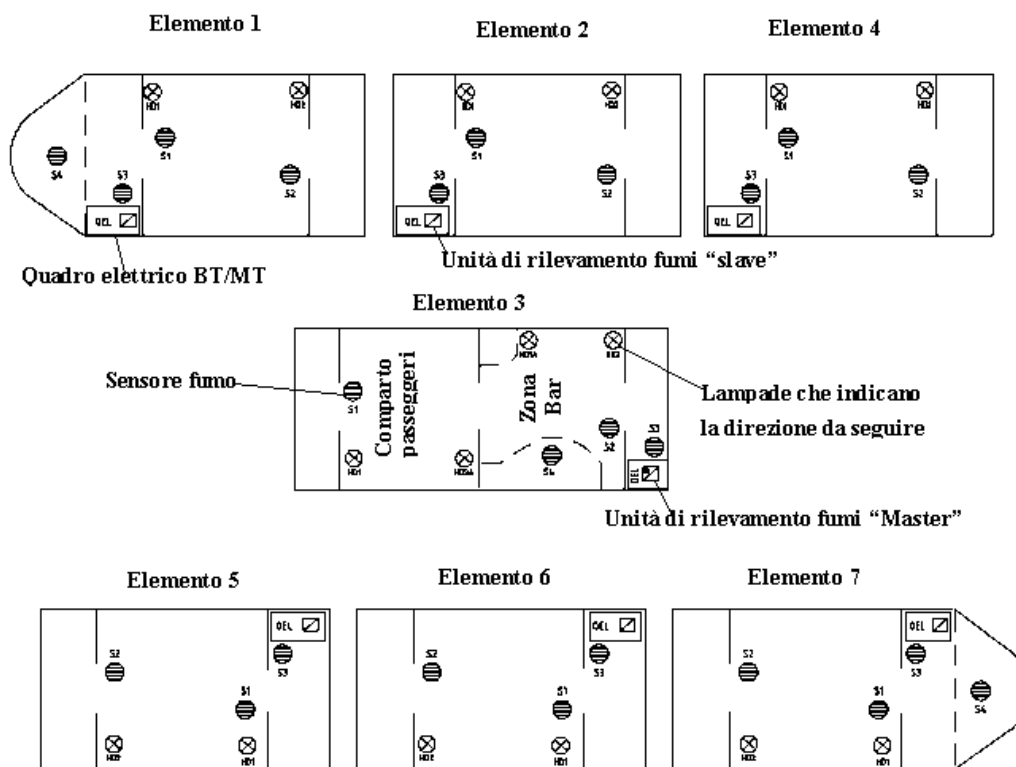



**Figura 142 :** ***Disposizione dei rilevatori fumo***

Le unità SMK-2S si comportano come slave sul bus RS485, rispondendo ai messaggi inviati dal master; l'indirizzo è definito da ponticelli sul cablaggio del connettore posteriore, con possibilità di 16 codifiche. La codifica è corrispondente al numero di veicolo dove l'unità è installata, quindi resta esclusa la posizione 3, corrispondente alla locazione dell'unità master SMK-2M. Collegando un PC portatile alla porta RS232 (X03) è possibile avere una situazione dettagliata dello stato di ogni rilevatore, a scopo di manutenzione, ed anche modificare i parametri

individuali di funzionamento, e questo sia per i rilevatori direttamente collegati che per quelli raggiungibili tramite le unità SMK-2S.

#### *9.3.2.7 Estintori*

Su tutti i veicoli sono presenti [132] degli estintori portatili a polvere da 6 kg:

- ✓ uno in ogni cabina di guida (veicoli 1 e 7)
- ✓ uno in ogni veicolo intermedio (veicoli 2, 4, 5 e 6) posizionato nel vestibolo nei pressi degli armadi elettrici QR.
- ✓ due sul veicolo 3, uno posizionato in corrispondenza della cucina e uno posizionato nel vestibolo nei pressi gli armadi elettrici QR.

## 9.4 I METODI DI PROVA PROPOSTI PER I MATERIALI INTERNI AGLI AUTOBUS

Alla luce delle statistiche e di quanto esaminato precedentemente risulta che negli ultimi anni si è avuto un incremento negli incendi degli autobus, che risultano quindi un evento relativamente comune, ma per combatterli non può essere impartita nessuna istruzione univoca e sistematica ed è diventato quindi prioritario individuare continuamente nuove strategie di prevenzione che consentano, a breve termine, di porre un argine a tale preoccupante fenomeno. Pertanto il livello di sicurezza antincendio negli autobus non è da considerare assolutamente sufficiente ed in effetti i materiali usati nella costruzione dei moderni autobus, specie nel compartimento passeggeri, necessiterebbero di essere intrinsecamente sicuri per ridurre il rischio incendio. I prodotti interni agli autobus sono attualmente regolati, secondo la direttiva europea 95/28, dallo standard **ISO 3795**, recepito dalla Commissione Tecnica Di Unificazione Dell' Autoveicolo (CUNA) nella norma NM CUNA 590-02 sui "limiti della velocità di combustione dei materiali all'interno dei veicoli" che

determina se e quando si estingue una fiamma applicata sulla superficie libera di un campione o il tempo necessario a superare una determinata distanza e le norme fissano una **velocità di combustione al massimo di 100mm/min**, mentre non è prevista alcuna prescrizione dalla norma sulla produzione di fumi tossici e sul comportamento dei materiali non metallici impiegati per la carrozzeria e di allestimento esterno. In effetti è però accertato che l'autobus va interamente distrutto nell'arco di una decina di minuti e non di ore, con una velocità di propagazione dell'incendio superiore ai 100mm/min per la presenza di materiali che alimentano la combustione e che da uno studio recente dell'istituto SP di ricerca tecnica svedese [75],[117],[133], sottoponendo diversi materiali interni agli autobus ai metodi proposti e comparandoli a quelli richiesti dalle normative europee, è emerso che la sicurezza dei materiali interni deve essere migliorata, infatti molti materiali non soddisfano i criteri sulla produzione di fumi o sul rilascio del calore e non sarebbero consentiti in spazi pubblici o in vie di fuga di edifici, producendo alcuni flashover in meno di due minuti se disposti su pareti e tetti di una piccola stanza ed esposti in un angolo ad un fuoco; è quindi evidente che lo standard **ISO 3795** fornisce un basso livello di sicurezza per il vano passeggeri in caso di incendio, che deve quindi essere migliorato, sia riducendo la velocità di combustione dei materiali costituenti l'autobus all'interno di un range compreso tra **70÷75mm/min**, che consenta alle persone un maggior tempo per porsi in salvo ed un tempestivo intervento di spegnimento, ma soprattutto dando uno sguardo all'esperienza e ai requisiti utilizzati in altri settori, attraverso l'uso di test più moderni, che meglio evidenzino il comportamento al fuoco dei materiali.

Gli standard utilizzati in altri settori come per le navi passeggeri, edifici pubblici e in particolare per i treni, vista la similitudine delle carrozze ferroviarie con gli autobus, specie per quel che riguarda la produzione di

fumi e tossicità di materiali, come rivestimenti e tappezzeria, appaiono certamente più adeguati per ridurre sia il numero che le conseguenze degli incendi : vediamo quelli che potrebbero risultare di interesse per il settore degli autobus e quali i parametri da prendere in considerazione con i relativi limiti proposti.

Lo standard **ISO 5660-1** o del cono calorimetro, utilizzato per i treni secondo la CEN TS 45545-2 con cui, un campione sottoposto a riscaldamento radiante e con un generatore di scintille si infiammano i gas da pirolisi che raccolti consentono la determinazione del tasso di rilascio del calore HRR dalla misura del consumo di ossigeno, che consente a sua volta il calcolo di un altro parametro il ***MARHE*** ossia del massimo tasso medio dell'emissione di calore tra il test iniziale e finale, definito anche come l'emissione cumulativa di calore che si ha durante il test diviso per il tempo, che le norme fissano al massimo a **50 kW/m**$^2$.

Lo standard **ISO 5659-2** è utilizzato, dall'organizzazione marittima internazionale (IMO) e recentemente per la sicurezza dei treni secondo la CEN TS 45545-2, insieme a un test di tossicità dei fumi per determinare se un materiale soddisfa i requisiti come non in grado di produrre eccessive quantità di fumi e prodotti tossici o non dare origine a pericoli tossici ad elevate temperature; per i treni le norme prevedono che la *massima densità ottica dei fumi* venga raggiunta dopo almeno *4 minuti* $D_s(4)$ e viene poi valutato *dopo 8 minuti* un *indice di tossicità convenzionale* (**CIT**) a seconda delle diverse specie di gas.

LO standard **ISO 5658**, sulla diffusione laterale della fiamma, utilizzato per i treni secondo la CEN TS 45545-2 e per i rivestimenti interni nelle navi passeggeri, con cui si determina un flusso critico di calore all'estinzione (CHF) ossia il flusso incidente di calore alla superficie del campione sul punto lungo l'asse orizzontale in cui la fiamma cessa di avanzare, misurando la massima diffusione della fiamma e rapportandola

al corrispondente flusso di calore della curva di calibrazione; le norme secondo la CEN TS 45545-2 prevedono un minimo valore di 20 $kW/m^2$ corrispondente a una diffusione della fiamma di 380 mm. Sulle navi vengono anche determinati altri parametri, come $Q_{sb}$ [MJ/ $m^2$] calore per sostenere la combustione che misura la velocità di diffusione della fiamma, come $Q_t$ [MJ] rilascio totale di calore, $q_p$ [kW] picco del tasso di rilascio del calore.

Lo standard **EN ISO 9239-1** utilizzato nei treni secondo la CEN TS 45545-2 per la reazione al fuoco dei *pavimenti*, determinata sottoponendo un campione a una fonte di calore radiante, in cui viene valutato il parametro CHF [$kW/m^2$] misurando la massima distanza di diffusione della fiamma rapportando il flusso di calore a quello della curva di calibrazione; le norme prevedono un minimo valore di CHF di 8 kW/ $m^2$, corrispondente ad una distanza della diffusione della fiamma di 270 mm.

Lo standard **EN ISO 11925-2** utilizzato per l'infiammabilità dei prodotti da costruzione esposti a una fiamma piccola su un bordo o superficie e si determina il tempo di accensione, il gocciolamento e la diffusione della fiamma; secondo le norme alle fiamme non è consentito diffondere al di sopra di 150 mm dal punto di esposizione entro un tempo di 30 o 60 secondi a seconda della classe di prodotto.

Il test **CBUF** proposto anche per la sicurezza dei treni secondo la CEN TS 45545-2 è un test in scala reale per le tappezzerie delle sedute, in cui una fonte di ignizione viene applicata sul campione per 2 minuti, a 25 mm dal cuscino e 50 mm dallo schienale e i gas prodotti vengono poi raccolti e analizzati, determinando anche l'HRR dalla misura del consumo di ossigeno derivante dalla concentrazione e portata di ossigeno nei gas di scarico; le norme prevedono per i treni un MARHE di massimo 20 kW.

Lo standard **ISO 6941** infine, regola secondo la direttiva europea 95/28/EC, tendaggi, oscuranti ed altri elementi verticali e prevede che un campione posto verticalmente venga sottoposto a una fiamma per alcuni secondi e viene determinata la velocità di combustione verticale tra 3 opportune tacche poste sulla superficie del campione; le norme prevedono che la velocità debba essere al massimo di 100/mm al minuto. Nella tabella seguente vengono ricapitolati i test proposti, che dovrebbero essere utilizzati per testare i materiali degli autobus, per limitare il rischio d'incendio nel modo più efficace possibile :

**Tabella 99 :** ***Metodi di prova proposti per i materiali interni agli autobus***

| Metodo di Prova | Principali aree di applicazione | Parametri controllati e relativi limiti |
|---|---|---|
| ISO 3795 test di diffusione della fiamma | Interni veicoli (direttiva CEE 95/28) | Burning rate $< 75$ mm/min |
| ISO 5660-1 test del cono calorimetrico | Treni (CEN TS 45545-2) | MARHE $< 50$ kW/m$^2$ |
| ISO 5659-2 test di tossicità dei fumi | Rivestimenti superficiali su navi passeggeri | $D_m$[8]$< 150$;$D_s(4)$[9] $< 150$; VOF4[10] $<300$;CIT $< 0.75$; [CO$<1450$,HF$<600$,HCl$<600$, HBr$<600$,HCN$<140$,$NO_x$ $<350$ppm] |
| ISO 5658-2 test di diffusione delle fiamme | Rivestimenti superficiali su navi | CHF $\geq$ 20 kW/m$^2$ |
| EN ISO 9239-1 prove di reazione al fuoco dei pavimenti | Materiali dei pavimenti degli edifici | CFE $>$ 4.5 kW/ m$^2$ |
| EN ISO 11925-2 Prova con l'impiego di una singola fiamma | Rivestimenti superficiali e isolamento degli edifici | t $\leq$ 60 s |
| CBUF test su scala reale delle sedute | Test su Sedute per i treni | MARHE $\leq 20 \div 75$ kW/ m$^2$ |
| ISO 6941 test di diffusione della fiamma nei tendaggi | Tendaggi negli autobus | Burning rate $< 100$ mm/min |

[8] Media delle massime densità ottiche specifiche.

[9] Densità ottica specifica dopo 4 minuti.

[10] Densità ottica specifica dopo 10 minuti.

# CONCLUSIONI

Alla luce delle considerazioni viste e sulla base dei dati statistici rilevati in quasi tutti i Paesi, appare evidente la necessità di porre un freno alla problematica degli incendi degli autobus adibiti al trasporto pubblico, in particolare dei vani motori, che negli ultimi anni è andata intensificandosi rispetto ad altri tipi di incendio, pregiudicando la sicurezza dei passeggeri e di conseguenza la qualità, arrecando, quando l'evento si verifica, notevoli danni e ripercussioni all'immagine della società erogante il servizio.

Pertanto attraverso un' analisi disaggregata dei singoli incidenti si è, dapprima riusciti a comprendere le dinamiche che danno origine alle cause, dopodiché tramite un' indagine svolta con un' analisi di tipo F.M.E.A., si è avuto modo di appurare che nella maggior parte degli eventi incidentali, sono stati i guasti occorsi ai veicoli, di natura sia meccanica che elettrica, a costituire la causa di innesco. Ed infatti, sono appunto o i guasti al motore a portare spesso all'innesco di incendi per effetto delle elevate temperature, o i cortocircuiti all'impianto elettrico che danno luogo a scintille che possono raggiungere distanze anche ragguardevoli coinvolgendo le parti infiammabili dei veicoli. Ciò deve quindi far riflettere sulla necessità, di attuare delle adeguate strategie di controllo dei mezzi per testarne il livello di efficienza ed appare inoltre auspicabile la creazione di report incidentali maggiormente dettagliati (di cui se ne riporta un esempio in appendice), che consentirebbero ai tecnici di predisporre interventi più efficaci per la prevenzione incidentale. Fondamentale inoltre è un avanzato sistema di rilevazione che sia in grado di rilevare le condizioni che potrebbero portare all'incendio, dando

al conducente la possibilità di agire e prevenire l' incendio o comunque riducendo i tempi affinché il sistema automatico di estinzione possa attivarsi.
Per quanto attiene invece al vano passeggeri, il maggior problema è che alcuni materiali interni presentano una sicurezza antincendio molto bassa, specie nei veicoli più moderni e confortevoli per l'allestimento a bordo, come avviene per gli autobus cosiddetti *interurbani* e per quelli *granturismo* e nel caso il compartimento sia interessato dall'incendio, può aversi una rapida diffusione delle fiamme e produzione di molto fumo che rende l'evacuazione difficile. Per cui il miglioramento dei metodi di prova per i materiali interni e l'emanazione di normative aggiornate al progresso tecnologico è un settore prioritario di lavoro per la regolamentazione futura dei bus e per i futuri capitolati di approvvigionamento con richieste di requisiti più stringenti ai costruttori stessi.
Il verificarsi di un evento incidentale dipende, in generale, dalla concomitanza di una serie di eventi elementari quali errori, disattenzioni, carenze informative, formative, operative e procedurali, macchine non sicure, avarie di componenti dei sistemi interessati, omissioni di controlli ecc. La probabilità dell'evento incidentale è tanto maggiore quanto maggiore è la probabilità dei singoli eventi elementari che concorrono a determinarlo. In situazioni di elevata probabilità di insorgenza di disfunzioni elementari numerose ed anche di primaria importanza, la probabilità che si verifichi l'evento incidentale è elevata, talché si può affermare che spesso si esce dall'area della casualità (ovvero degli eventi rari e difficilmente prevedibili) per entrare nell'area della certezza.
Pertanto la riduzione del rischio e delle conseguenze di un incendio, non può essere affrontata tramite specifiche indicazioni, ma solo con un piano globale di prevenzione che vada, dall'adozione di materiali aventi un

migliore comportamento al fuoco, all' adozione di norme sulla protezione al fuoco più stringenti, in assonanza a quelle di altri settori, come ad esempio quello navale, degli edifici pubblici e dei treni, e che infine includa, lo sviluppo sia di una precisa organizzazione aziendale della sicurezza, della pianificazione e gestione delle emergenze, sia un' efficiente organizzazione del servizio di manutenzione e la disponibilità degli operatori di esercizio ad operare secondo standard definiti e i principi dell' automanutenzione, affidando ad esempio determinate vetture della flotta a uno stesso gruppo di autisti che in questo modo potrebbero meglio monitorare il veicolo individuando e segnalando eventuali anomalie. Relativamente al caso specifico esaminato, l'analisi costi-benefici ha evidenziato la convenienza della reingegnerizzazione della flotta di autobus in esame, pertanto se ne suggerisce l'adozione e l'individuazione delle fonti finanziarie necessarie.
Le misure di sicurezza gestionale e gli accorgimenti migliorativi proposti, il perfezionamento del sistema di telecontrollo, che consente al conducente la comunicazione in tempo reale dei guasti o avarie del mezzo alla centrale operativa, il monitoraggio dell'andamento di determinati parametri funzionali tramite l' ottimizzazione dei sistemi di diagnostica di bordo come l' Intellibus e TEQ che, grazie a un sistema di sensori rilevino i dati e provvedano, a fine giornata, a scaricarli ed inviarli attraverso un sistema GSM a una stazione ricevente o l'adozione di moderni sistemi di diagnostica locale, che leggendo i dati dei bus li inviino ad una stazione informatica a servizio di un banco di prova installato nell'officina e quindi, in definitiva, l'adozione di strategie di manutenzione innovative come quella predittiva, sono gli elementi fondamentali per ridurre la soglia dei guasti, migliorare l'affidabilità dei veicoli e in definitiva abbassare drasticamente il rischio d' incendio e garantire l' incolumità degli utenti e del personale lavorativo.

## APPENDICE A

# Scheda condizioni veicolo incendiatosi

| **DATI VEICOLO** |
|---|
| Matricola aziendale : |
| Classe veicolo : |
| Modello veicolo : |
| Tipologia motore : |
| Allestimento : |
| Km percorsi : |
| Data immatricolazione : |
| Data incendio : |
| **DATI INCENDIO** ( da compilare a cura dell'autista) |
| Descrizione dinamica incendio : |
| Luogo dell'incendio : |
| Gravità incendio : |
| Zona d'origine : |
| Causa (se nota) : |
| Avvertimento dell'incendio : |
| Eventuale accensione di spie sul cruscotto : |
| Eventuali anomalie denunciate in precedenza : |

| Lettura autodiagnosi centraline elettroniche : |
|---|
| Azionamento di sistemi d'estinzione automatica |
| Utilizzo estintori di bordo : |
| **EFFETTI INCENDIO SULLE PERSONE** |
| Descrizione modalità di evacuazione del veicolo : |
| Stato conducente : |
| Danni a persone : si ○ no ○ |
| In caso di danni descriverne la gravità : |
| Descrivere la reazione degli utenti : |
| **EFFETTI 'INCENDIO SUL VEICOLO** (a cura del manutentore) |
| Stato esterno veicolo : |
| Stato allestimenti interni : |
| Stato telaio e componenti : |
| Stato leveraggi e complessivo sterzo : |
| Stato pneumatici e cerchioni : |
| Stato albero di trasmissione : |
| Stato sospensioni : |
| Stato freni : |
| Stato motore : |
| In caso di rottura basamento motore indicare lato : aspirazione ○ scarico ○ |
| Stato tubazioni olio motore-turbina (rotture o scollegamenti) : |

| Stato tubazioni comustibile su motore : (rotture o scollegamenti) : |
|---|
| Stato girante ed alberino compressore turbosoffiante : |
| Stato batterie e cavi collegati : |
| Stato motorino di avviamento  e cavi : |
| Stato alternatore e cavi : |
| Stato teleruttori e interruttori : |
| Stato centralina interconnessione e cavi : |
| Stato impianto elettrico e utenze aggiunte : |
| **FOTO ALLEGATE :** |
| **DATA COMPILAZIONE :** |
| **FIRMA COMPILATORE :** |

**APPENDICE B**

# Allegato fotografico

**Figura 143 :** ***Il deposito di Arzano***

**Figura 144 :** ***Le officine NAMET***

**Figura 145 :** ***Corrugato non autoestinguente***

**Figura 146 :** ***Tubazione gasolio non autoestinguente***

**Figura 147 :** ***Sistema di fissaggio tubazioni***

**Figura 148 :** ***Verifica intervento Pirò su 5829***

**Figura 149 :** ***Confronto stato del tetto tra autobus di vecchia generazione e attuale***

# BIBLIOGRAFIA

[1] Issfort-Asstra “*Alla ricerca di un punto di svolta*”, 6° rapporto sulla mobilità urbana in Italia, Napoli 7 maggio 2009;

[2] Issfort-Asstra “*Così è, se vi pare*”, 5° rapporto sulla mobilità urbana in Italia, Genova 7 maggio 2008;

[3] Issfort-Asstra “*Aggiungi un posto in autobus*”, 4° rapporto sulla mobilità urbana in Italia, Firenze 12 aprile 2007;

[4] Issfort-Asstra “*Dove vanno a finire i passeggeri*”, 3° rapporto sulla mobilità urbana in Italia, Roma 2 marzo 2006;

[5] Issfort-Asstra “*Avanti c’è posto*”, Report annuale sulla mobilità urbana : i bisogni dei cittadino, le risposte della città, Roma 13 aprile 2005;

[6] Anfia “*Il libro bianco dell’autobus in Italia*”, Centro studi sui sistemi di trasporto S.p.A, novembre 2007;

[7] Anfia “*Il nuovo libro bianco dell’autobus in Italia*”, Centro studi sui sistemi di trasporto S.p.A, novembre 2005;

[8] Istat, “*Statistiche dei trasporti : anno 2004*”, Annuari 2007;

[9] LA Franca L., Lacava G., “*Corso di tecnica dei trasporti, appunti di trasporti urbani e metropolitani*”, Università degli studi di Palermo, 2006;

[10] Copit, “*La sicurezza dei trasporti : le soluzioni della tecnologia*”, I quaderni del Copit – 4, Comitato di Parlamentari per l’Innovazione Tecnologica e lo Sviluppo Sostenibile – Onlus;

[11] Regione Toscana Area extra - dipartimentale Statistica, “*Indagine campionaria sul Trasporto Pubblico*”, Supplemento n. 18 a Informazioni Statistiche - Mensile della Giunta Regionale Toscana, giugno 2001;

[12] CTP “*Carta della mobilità 2009, in moto verso un futuro blu*” 2009;

[13] De Majo S. “*Dal vapore al metano 125 anni di storia della CTP, 1881-2006*”, Colonnese Editore, 2006;

[14] CTP “*Rapporto di sostenibilità*” 2007;

[15] Elifani G., “*La prevenzione incendi nella piccola e media industria*”, EPC;

[16] Malizia M., "*Corso per i lavoratori incaricati dell'attività di prevenzione incendi, lotta antincendi, evacuazione dei luoghi di lavoro e gestione delle emergenze*", Ministero dell'Interno, 2008;

[17] Amico A. "*Tecnica della prevenzione incendi*" Dario Flaccovio Editore, 2009;

[18] Corpo nazionale Vigili del Fuoco, "*Manuale di soccorso tecnico*",2008;

[19] Protezione Civile, "*1° Corso dei rischi d'incendio*", Gruppo operatori radio, 2008;

[20] A. Monaco, "*Formazione antincendio di base : corso di prevenzione incendi, lotta antincendio e gestione delle emergenze, Livello C rischio di incendio elevato*", Comando provinciale vigili del fuoco Udine, 2000;

[21] Edmondo e Paolo Lavè "*Il manuale dell'addetto Antincendio*", ed.EPC libri;

[22] Ricci M., Orsini A., "*Chimica e fisica degli incendi*", Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, Servizio Tecnico Centrale;

[23] Paduano "*Rischio Incendio*", Consiglio Nazionale delle Ricerche, Servizio di Prevenzione e Protezione, 2008;

[24] Lazzarotto E. "*Prevenzione incendi*" Gruppo editoriale Esselibri, 2001;

[25] Tosi A., "*Tecnologie antincendi nelle costruzioni*" Antonio Vallardi editore, 1950;

[26] Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile, "*Corso di prevenzione incendi modulo 1*", Direzione Centrale per la Formazione, 2008;

[27] Provincia di Roma, "*Chimica e fisica della combustione*", Territorio Digitale;

[28] Di Leo R., "*Servizio Prevenzione Protezione*", università degli Studi di Salerno, 2004;

[29] Rizzo R. "*La sicurezza degli impianti industriali*", Edizioni scientifiche italiane, 1998;

[30] Cardillo Paolo, “*Guida allo studio e alla valutazione delle esplosioni di gas e vapori*” Monografia, Stazione sperimentale per i Combustibili San Donato Milanese;

[31] Cardillo P., “*Guida allo studio e alla valutazione delle esplosioni di polveri*”, Monografia, SC Sviluppo Chimico, Milano, 2002;

[32] Marinelli S. “*La formazione dell’addetto antincendio*” EPC Libri;

[33] Brisi C. “*Chimica applicata*”, Levrotto & Bella, 1982;

[34] Della Volpe R., “*Macchine*” Liguori Editore, 2002;

[35] Di Fraia R., “*Sistemi per la rilevazione automatica degli incendi e fughe di gas e sistemi per lo spegnimento degli incendi : progetto antincendio di una fabbrica*”, Tesi di laurea in ingegneria meccanica,DIMP, Università degli Studi di Napoli, 2006/2007;

[36] Lenzi R., *“Resistenza al fuoco delle strutture*” EPC libri, 2006;

[37] Tuttonormel “*Legislazione e classificazione di luoghi con pericolo di esplosione*”, Edizioni TNE, 2006;

[38] D’Errico A., Restuccia N. “*Le sostanze esplosive*”, Convegno sulla Valutazionee Gestione del Rischio negli insediamenti civili e industriali, 2002;

[39] Salimbeni D., “*Seminario di prevenzione incendi*”, Corso di studi in ingegneria elettrica, Università degli Studi di Cagliari, 2004;

[40] Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco “*Supporti didattici per lo svolgimento dell’attività formativa per le Aziende*”, Servizio Tecnico centrale, 1997;

[41] Nassi L., Marsella S., “*L’ingegneria della sicurezza antincendio e il processo prestazionale*”, EPC Libri, 2006;

[42] Vari “*Manuale per progettisti tecnici : evacuatori di fumo e calore*”, Tecnocupole Pancaldi;

[43] Monte A., “*Elementi di impianti industriali*”, Cortina Editore, 2003;

[44] Nigro L., Marinelli S,, “*Impianti antincendio*” EPC Libri, 2007;

[45] Scuola Provinciale Antincendi “*Sostanze estinguenti dispensa schiume*”, Provincia Autonoma di Trento;

[46] Ungaro R. "*Corso di specializzazione di prevenzione incendi per i professionisti ingegneri*", Ordine degli Ingegneri della Provincia di Modena;

[47] Vescovi S. "*Criteri di prevenzione incendi*", Laboratori Nazionali di Frascati, 2001;

[48] Leslie P. Omans "*I liquidi schiumogeni utilizzati per gli incendi di liquidi combustibili*", Rivista antincendio, novembre 1994;

[49] Maiello L., Sica G. "*La valutazione del rischio incendio ai fini progettuali*", Incontro di aggiornamento tecnico sull'antincendio – Milano, 19 novembre 2004;

[50] Mummolo G. "*Il rischio incendio*", dispensa del corso di Sicurezza degli impianti industriali, Politecnico di Bari, 2002;

[51] Vari "*Antincendio : testo ed esame del D.M. 10/03/98*", Dossier Ambiente, Trimestrale della associazione ambiente e lavoro, aprile 1999;

[52] Cipriani A., Nassi L., "*La protezione antincendio*", Supporti Didattici per lo svolgimento dell'attività formativa alle Aziende da parte dei Comandi Provinciali Vigili del Fuoco;

[53] Gattuso A., "*Seminario sulla sicurezza antincendio*", Università degli Studi di Reggio Calabria Facoltà di Ingegneria, 21 novembre 2005;

[54] Abate M. "*La corretta manutenzione degli estintori antincendio*",Il Giornale dell'Installatore Elettrico, 20 Giugno 2005;

[55] Robot & Fire, "*Manuale d'uso e manutenzione Pirò*", 2008;

[56] Ofira Spa "Manuale d'uso e manutenzione Fogmaker", 2008;

[57] Erar Srl, "*Impianto antincendio autobus Firekill : manuale d'uso e manutenzione*", 2008;

[58] Garzia F.,"*Rivelazione incendi*", Ingegneria della Sicurezza e Protezione – Università degli Studi di Roma La Sapienza, Corso di Sistemi integrati di sicurezza e tecnologie anticrimine – Modulo di Impianti di rivelazione incendi, 2009;

[59] Vari, "*Manuale di soccorso tecnico ad uso degli equipaggi di soccorso sanitario*", Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, 2008;

[60] Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco "*Prevenzione Incendi: Linee guida per le attività industriali, artigianali e simili*" 1997;

[61] BPB Italia S.p.A, "*Guida alla protezione passiva del fuoco*", 6° Edizione, 04/2008;

[62] Borsini G., "*L'impatto della normativa europea sulla protezione passiva*", Rivista Antincendio, ottobre 2006;

[63] Di Martino A., Francesconi F., "*Evoluzione della normativa antincendio*", Elkron, 2008;

[64] Setti P., "*Comportamento al fuoco dei sistemi strutturali*", Dip. Ing. Strutturale Politecnico di Milano, 2007;

[65] Borsini G., "*Prodotti da costruzione a prova d'incendio con le normative europee*", Antincendio, Novembre 2004;

[66] LAPI "*Reazione al fuoco e standard europei: il ruolo degli organismi di prova*", Agosto 2009;

[67] Paduano G., "*La sicurezza antincendio:l'evoluzione della normativa nel settore della reazione al fuoco*", Comando Provinciale Vigili del Fuoco di Roma, 2007;

[68] Schiaroli S. "*Convegno : Le recenti disposizioni sulla resistenza al fuoco*", Istituto Superiore Antincendi, Roma 21 giugno 2007;

[69] Caciolai M.,"*Le recenti disposizioni sulla resistenza al fuoco*", Istituto Superiore Antincendi, 21 giugno 2007;

[70] La Malfa A., "*La resistenza al fuoco delle strutture con i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio*", Quaderni di scienza e tecnica, Supplemento alla Rivista ufficiale dei Vigili del Fuoco Obiettivo e Sicurezza, aprile 2005;

[71] Ponticelli L., "*Fire resistance of metal structure*", 43° Corso Ispettori Antincendi, ottobre 2003;

[72] CNR "*Progettazione di strutture resistenti al fuoco*", Bollettino ufficiale Norme tecniche, 28/12/99;

[73] Castelli P., "*La corretta progettazione dei sistemi di vie d'uscita*" Rivista Antincendio, marzo 2006;

[74] Confcommerrcio, “*La prevenzione incendi nei luoghi di lavoro. Obblighi controlli e procedure*” , giugno 2004;

[75] Hammarstrom R., Axelsson J., “*Bus fire safety*”, SP Technical Research Institute of Sweden, 2008;

[76] Tiezzi I., “*La sicurezza antincendio nei mezzi di trasporto*”, Fire&Smoke, giugno 2001;

[77 ] Massetti R., “*Qualità nei trasporti pubblici*”, ATM;

[78] Borsini “*La sicurezza nei trasporti*”, LAPI : Laboratorio prevenzione incendi;

[79] Carbone D., “*Autobus : Normative di riferimento e raccomandazioni Asstra*”, Asstra Roma, 11/06/2004;

[80] Asstra “*La prevenzione incendi nel trasporto pubblico su gomma*”, gennaio 2005;

[81] Ciccorelli G., Marangoni A., “*Su gomma o su rotaia il trasporto di carichi pericolosi è sempre un rischio*”, Fire&Smoke, giugno 2001;

[82] Vari “*Bus Fires in Finland during 2001*”, Incident report, 2002;

[83] Iveco, “*Manuale per le riparazioni Cityclass Cursor Multibus*”;

[84] Iveco, “*Impianto elettrico elettronico Cityclass Cursor Multibus*”;

[85] G. Camino, “*Developments in Polymer Degradation-7*”, Applied Science Publishers, London, 1987, Chapter 7;

[86] C. F. Cullis and M. M. Hirschler, “*The Combustion of Organic Polymers*”, Claredon press, Oxford, 1981;

[87] Le Bras, G. Camino, S. Bourbigot, R. Delobel, “*Fire Retardancy of Polymers – The Use of Intumescence*”, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1998;

[88] G. L. Nelson, C. A. Wilkie, “*Fire and Polymers*”, American Chemical Society,Washington D. C., 2001;

[89] Mouritz A.P., Gibson A.G.,“*Fire properties of polymer composite materials*”, Springer, 2006;

[90] Lazzara G. “*La combustione dei pneumatici*”, Angolo Tecnico Obiettivo e Sicurezza;

[91] Simonetti S. "*Impianti elettrici antideflagranti*", Seminario integrativo sicurezza antincendio, aprile 2002;

[92] Turturici C., D'Anna F., "*Impianti elettrici e sicurezza antincendio*", Ministero dell' Interno Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile, 2004;

[93] Capelli F., "*L'acciaio inossidabile nella costruzione di autobus*", articolo pubblicato su Lamiera n°10 ottobre 2000;

[94] Barteri M., "*Strutture reticolari in acciaio inossidabile: simulazione agli elementi finiti di resistenza al fuoco*", giornate italiane della costruzione in acciaio, settembre 2001;

[95] Capelli F., "*L'innovazione nei mezzi di trasporto*", Rivista meccanica n°1015/b/ottobre1992;

[96] Schulitz H.C., "*Atlante dell'acciaio*" UTET, 1999;

[97] Felicetti R., "*La resistenza al fuoco di strutture in acciaio*", Politecnico di Milano, dipartimento di ingegneria strutturale;

[98] Quaderni di informazione, "*La protezione dal fuoco di strutture in acciaio con vernice intumescente*", Protherm Steel;

[99] Wilquin H. "*Atlante dell'alluminio*" UTET, 2003;

[100] De Florian F. "*Protezione mediante verniciatura di carrozzerie in allumino per autobus*", European coatings, 2005;

[101] Lauriola M., "*Progettare la sicurezza : la sicurezza al fuoco*", Convegno sicurezza e comfort con strutture in legno, Verona 16 giugno 2001;

[102] Durante A.G. "*Fire resistence of wooden structures*", iternational fire-figthers' workshop fire service college, 2003;

[103] Del Senno M., Piazza M., "*Il legno e il fuoco*", I corsi promo legno, 7 ottobre 2004;

[104] Vari "*Normativa legno lamellare*", Case e Ville n° 4 2001, Di Baio Editore;

[105] Ruffino N., "*La resistenza al fuoco delle strutture in legno*", CLUT, 1986;

[106] Borsini M., "*La sicurezza nei mobili imbottiti*", Arredo, Febbraio 2000;

[107] Borsini M., Borsini G., "*I rivestimenti tessili di parete e pavimento*", Arredo, Febbraio 2001;

[108] Borsini M., "*La reazione al fuoco dei tessili ad impiego tecnico*" TTI Giugno 2000;

[109] Grasso F., Calabretta C., "*I materiali compositi nei mezzi di trasporto*", Università degli studi di Catania Facoltà di Ingegneria, 2008;

[110] Gobetto E.,"*Compositi strutturali un futuro automative*", Competitività notiziario per i clienti del Centro Ricerche Fiat, n°8 11/06/2004;

[111] Crivelli Visconti I., "*Materiali compositi : tecnologie – progettazione-applicazioni*";

[112] IVECO, "*Catalogo ricambi Iveco*", 2008;

[113] Caldarola A., "*Corso sui motori Cursor Bus Euro 3*", Iveco, giugno 2003;

[114] Richard W. Bukowski, P.E., FSFPE, "*Fire Hazard Assessment for Transportation Vehicles*", NIST Building and Fire Research Laboratory;

[115] C. Guesdes Soares, "*Advances in safety & Reliability*", Volume I, Pergamon, 1997;

[116] Dennis P. Nolan, P.E., "*Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical, and related facilities*", Noyes publications, 1996;

[117] Johansson P., Axelsson J., "*Fire safety in buses – WP2 report : Fire Safety review of interior materials in buses*", SP Technical Research Institute of Sweden, 2006;

[118] Brugger G., "*Gli investimenti industriali*", Giuffrè, Milano, 1979;

[119] Ponti M.,Brambilla M., Erba S., "*Analisi costi benefici", dispensa del corso di "Economia e Pianificazione dei Trasporti*", Politecnico di Milano, anno accademico 2003-2004;

[120] Vari, "*Guida all'analisi costi-benefici dei progetti di investimento*", Unità di valutazione, Politica Regionale e Coesione, Commissione Europea, 2003;

[121] Abramo G., Mancuso P., "*Esercizi di microeconomia e analisi degli investimenti*", seconda edizione, Texmat, 2004;

[122] Canale S., Leonardi S., Nicosia F., "*Analisi finanziaria economica dei progetti di investimento pubblico*" Quaderno n°92, Università degli Studi di Catania, Facoltà di Ingegneria, gennaio 1997;

[123] Vari, "*La competitività della modalità filoviaria nel trasporto pubblico urbano*" Centro di Ricerca Trasporti, Università degli Studi di Genova, L'energia elettrica, volume 78, 2001;

[124] Vari, "*La contabilità analitica nelle aziende di trasporto pubblico locale su gomma*", I e II parte, Fondazione Aristeia, Istituto di Ricerca dei Dottori Commercialisti, maggio 2003;

[125] LAPI, "*Protezione al fuoco dei veicoli ferrotranviari ed a via guidata*" La nuova normativa italiana UNI CEI 11170 parte 1,2,3 Ed. 2005;

[126] LAPI "*La nuova normativa europea sulle misure di protezione al fuoco nei veicoli ferrotranviari*";

[127] Caruso L., "*Il quadro normativo europeo e nazionale sulla sicurezza al fuoco dei rotabili ferroviari*", Trenitalia S.p.A, Pisa 10 ottobre2008;

[128] Trenitalia, "*Estintori e impianti antincendio in opera ai rotabili*", Istruzione tecnica di manutenzione, marzo 2006;

[129] Ferrovie dello Stato S.p.A., "*Impianto antincendio a bordo di rotabili*", ASA materiale rotabile e trazione Servizi Tecnici, 2002;

[130] Ferrovie dello Stato S.p.A., "*Impianto antincendio e rilevamento fumi ETR600*";

[131] Trenitalia, "*Elettrotreno ad assetto variabile ETR600*", Manuale per il personale di bordo addetto alla condotta Volume MC, ottobre 2008;

[132] Ferrovie dello Stato S.p.A., "*Estintori portatili a polvere da 6 kg per rotabili ferroviari*", Unità Tecnologie Materiale rotabile Direzione Tecnica, 2005;

[133] Hjohlman M.,Försth M.,Axelsson J.,"*Design fire for a train compartment*", SP Technical Research Institute of Sweden, 2009;

[134] Zanin G., "*Inbus : sistema di autobus per la mobilità urbana*", Tesi di laura, Università IUAV di Venezia, Facoltà di Design e Arti, Laurea specialistica in Disegno Industriale del Prodotto, 12 luglio 2006;

[135] Massetti R., "*I sistemi di diagnostica sui veicoli come elementi di ottimizzazione del processo manutentivo*", in Convegno A.I.MAN. di Genova, 11 giugno 2008;
[136] Visconti R., Moreggia V., "*Il sistema Intellibus e la manutenzione dei veicoli*", in Convegno A.I.MAN. di Bologna, 11 giugno 2004;
[137] Bottazzi A., "*Tpl Manutenzione come core-business*", Manutenzione, Tecnica e Management, settembre 2004;
[138] Burzio G, "*Autonica, l'elettronica sull'auto*", Mondo digitale n°3, settmbre 2004;
[139] Boni B., "*Se conosci puoi gestire*", Rivista autobus, novembre 2003.

# SITOGRAFIA

{1} http://www.anfia.it, "*Brochure gruppo autobus 2008*", (ultimo accesso : settembre 2009);

{2} http://it.wikipedia.org, "*Autobus*", (ultimo accesso luglio 2009);

{3} http://www.namet.it "*Sito ufficiale Namet trazione azzurra*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{4}http://www.ctpn.it "*Sito ufficiale della Compagnia Trasporti Pubblici di Napoli S.p.A.*", (ultimo accesso : settembre 2009);

{5} http://projects.elis.org/leonardo "*Chimica e fisica del fuoco*", (ultimo accesso : giugno 2009);

{6} http://www.firestop.it "*Impariamo a conoscere gli incendi*", (ultimo accesso : giugno 2009);

{7} http://www.ania.it "*L'incendio*" (ultimo accesso : giugno 2009);

{8} http://www.udine.vigilidelfuoco.it "*Guide tecniche del Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Udine*", (ultimo accesso : giugno 2009);

{9} http://www3.corpoforestale.it "*Conoscere il fuoco per poterlo affrontare*", Corpo Forestale dello Stato", (ultimo accesso : giugno 2009);

{10} http://www.unpisi.it "*Manuale per addetti alla sicurezza antincendio*", (ultimo accesso : giugno 2009);

{11} http://www.vigilfuoco.it "*Richiami di chimica e fisica dell'incendio*", (ultimo accesso : giugno 2009);

{12} http://www.antincendio.it "*Combustione : i tipi di fiamma*", (ultimo accesso : giugno 2009);

{13} http://projects.elis.org/leonardo "*L' estinzione degli incendi*", (ultimo accesso: giugno 2009);

{14} http://www.ania.it "*Gli agenti estinguenti*", (ultimo accesso: giugno 2009);

{15} http://projects.elis.org/leonardo "*La prevenzione incendi*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{16} http://it.wikipedia.org "*Prevenzione incendi*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{17} http://projects.elis.org/leonardo "*La valutazione dei rischi*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{18} http://www.vigilfuoco.it "*Estintore portatili*", (ultimo accesso : giugno 2009);

{19} http://www.gibiestintori.it "*Catalogo estintori GiBi estintori*", (ultimo accesso : giugno 2009);

{20} http://www.robotfire.com "*Sito ufficiale Robot & Fire : il Pirò*"; (ultimo accesso : luglio 2009);

{21} http://www.ofira.it "*Sistemi antincendio Fogmaker*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{22} http://www.teledata-i.com "*Impianti di rivelazione e segnalazione incendio in relazione alle aree da proteggere*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{23} http://www.epsass.it "*Il comportamento al fuoco e la classificazione dei materiali nella direttiva europea CPD 89/106*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{24} http://www.ania.it "*La reazione al fuoco dei materiali*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{25}http://www.laboratoriolapi.it "*Laboratorio Prevenzioni incendi : Pubblicazioni*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{26} http://www.epsass.it "*Resistenza al fuoco delle strutture*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{27} http://www.progettististrutturali.it "*Norme tecniche per le costruzioni, D.M. 9 settembre 2005*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{28} http://www.ania.it "*La resistenza al fuoco degli elementi da costruzione*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{29} http://it.wikipedia.org "*Iveco CityClass*", (ultimo accesso : agosto 2009);

{30}http://www.milanotrasporti.org "*Iveco CityClass*", (ultimo accesso : agosto 2009);

{31} http://www.irisbus.com "*Autobus urbani e suburbani*", (ultimo accesso : agosto 2009);

{32} http://www.iveco.com "*Motori Cursor*", (ultimo accesso : agosto 2009);

{33} http://www.enteautonomovolturno.it "*Capitolati autobus*", (ultimo accesso : agosto 2009);

{34} http://www.omniaplastica.it "*Comportamento al fuoco*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{35} http://www.plasticsportal.net "*Plastics*", (ultimo accesso : agosto 2009);

{36} http://www.tela.it "*Comportamento al fuoco dei poliuretani espansi*"; (ultimo accesso : maggio 2009);

{37} http://www.poliuretano.it "*Prevenzione e rischio incendio*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{38} http://www.iir.it "*Istituto italiano del rame*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{39} http://www.assovetro.it "*Sicurezza antincendio*", (ultimo accesso : agosto 2009);

{40} http://www.glassonweb.it "*La resistenza del vetro al fuoco*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{41} http://www.cascinameli.it "*I tessili alla prova del fuoco*", Belletti G., (ultimo accesso : luglio 2009);

{42} http://www.infobuild.it "*Il portale dell'edilizia, i materiali compositi*", (ultimo accesso : settembre 2009);

{43} http://www.materialicompositi.it "*Caratteristiche materiali compositi*", (ultimo accesso : settembre 2009);

{44} http://www.edilpro.it A. Bonati, M. Quaglia, "*Rinforzi strutturali in materiale composito… un occhio al termometro*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{45} http://www.flitalia.it "*Sito ufficiale FL Selenia*", (ultimo accesso : luglio 2009);

{46} http://www.combustibile.it "*Il gasolio per autotrazione*", (ultimo accesso : maggio 2009);

{47} http://www.wroar.net "*Il gasolio per autotrazione*"; (ultimo accesso : luglio 2009).

## RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzitutto ringraziare la Prof.ssa Santillo, relatore di questa tesi  e l' Ing. Pasquale Iannotti, correlatore, per l'opportunità datami, per l'aiuto e i preziosi consigli forniti durante la stesura, sempre con grande disponibilità e cortesia.

Ringrazio inoltre l'intera sezione Impianti del DIMP, per i testi che mi ha consentito di consultare ed in particolare gli Ing. Mosè Gallo, Roberto Maria Grisi, Giuseppe Naviglio e Pasquale Zoppoli,  per le risposte a tutti i miei dubbi emersi durante la ricerca.

Inoltre ringrazio sentitamente l'intera CTP che mi ha ospitato, l'Ing. Salvatore Iovieno, direttore di Esercizio, per le autorizzazioni concesse, l'Ing. Pasquale Del Sorbo, tutor aziendale e l'Ing. Di Marzo responsabile della manutenzione, per la collaborazione offertami e per avermi messo a disposizione dati indispensabili nella stesura del presente lavoro, nonché l'archivista De Rosa per la disponibilità mostratami e tutti coloro che all'interno dell'azienda mi hanno dato il loro apporto.

Un ringraziamento speciale va poi all'Ing. Francesco Palma della Namet, sempre disponibile a dirimere i miei dubbi e per le numerose ore dedicate alla mia tesi, nonché l'intero personale dell' officina di Manutenzione per quanto fatto per me durante il periodo di stage.

Ringraziamenti vanno anche all'Ing. Nastri, direttore compartimentale di Napoli della Rete Ferroviaria Italiana, agli Ing. Pizzo e Mesite di Trenitalia e a Pasquale Petraccone di IMC, per avermi fornito il materiale relativo al settore ferroviario.

Intendo poi ringraziare i Vigili del Fuoco, sottolineando la particolare disponibilità dell' Ing. Luigi Madonna.

Ringrazio inoltre l'Ing. Nadia Amitrano di ASSTRA, l'Ing. Pasquale Piccolo della Robot&Fire e l'Ing. Crispino di ANM per avermi fornito materiale utile alla realizzazione della tesi.

Desidero infine ringraziare i miei genitori, che con i sacrifici sostenuti mi hanno consentito il raggiungimento di questo obiettivo e la mia Cristina per avermi incessantemente incoraggiato nel corso di questi anni.